

doi:10.3799/dqkx.2012.099

天山山脉剥露程度与矿产保存关系初探

陈正乐¹, 周永贵¹, 韩凤彬¹, 陈柏林¹, 郝瑞祥¹, 李松彬¹, 刘增仁²

1. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081

2. 有色金属矿产地质调查中心新疆地质调查所, 新疆乌鲁木齐 830011

摘要: 成矿后含矿地质体的剥露程度与矿体的保存关系是矿床学研究的疑难问题之一。利用中酸性侵入岩体的出露程度, 结合磷灰石裂变径迹测试结果及现今发现的矿产展布特征, 探讨天山山脉剥露程度与内生金属矿产保存之间的关系, 进而为区域找矿提供理论指导。统计结果表明, 北天山西段的依连哈比尕山、中段的博格达山和西南天山山脉皆缺乏大面积分布的深成侵入岩, 已经发现的内生金属矿产较少, 且以中低温的矿床为主; 北天山南部的觉罗塔格地区、中天山和南天山东段都大面积出露中酸性岩体, 已经发现了大量大型—超大型规模内生金属矿床, 以中高温成矿为特征; 综合分析已有的磷灰石裂变径迹测年结果统计显示, 北天山西段的依连哈比尕山、中段的博格达山和西南天山中生代晚期开始隆升, 新生代 25 Ma 以来隆升强烈; 北天山南部、中天山以及南天山东段山脉从侏罗纪早期就已经开始隆升而接受剥蚀, 新生代隆升较弱。结合现今山脉的地质背景、内生金属矿产展布特征、山脉隆升时间及其现今地貌特征推测, 北天山西段的依连哈比尕山、中段的博格达山和西南天山山脉由于剥蚀时间短, 因而其剥蚀程度相对较低, 地表仍出露表壳的沉积—火山岩系, 以中酸性侵入岩体为代表的深成岩体由于剥蚀量不够而还没有出露于地表, 地表出露低温的内生金属矿产; 北天山南部、中天山以及南天山东段山脉开始隆升时间早, 新生代隆升弱, 因而总体上剥蚀量、剥蚀程度大, 表壳岩系已经剥蚀殆尽, 广泛出露深成侵入岩体, 与中酸性岩体侵位有关的中高温矿产广泛展布。为此, 进一步指出了在天山山脉不同构造分区内应该着重寻找不同类型、不同成矿温度的内生金属矿产, 推测西南天山具有较好的找矿远景空间, 并认为山体剥露程度的差异是造成所谓“大矿不过国界”的主要原因之一。

关键词: 天山山脉; 剥露程度; 矿产保存; 构造地质; 矿床地质。

中图分类号: P612

文章编号: 1000-2383(2012)05-0903-14

收稿日期: 2012-04-21

Exhumation Degree of the Tianshan Range and Its Implications for Ore Preservation

CHEN Zheng-le¹, ZHOU Yong-gui¹, HAN Feng-bin¹, CHEN Bai-lin¹,
HAO Rui-xiang¹, LI Song-bin¹, LIU Zeng-ren²

1. Institute of Geomechanics, CAGS, Beijing 100081, China

2. Xinjiang Institute of Geology, CNMRGS, Urumqi 830011, China

Abstract: The exhumation of ore-bearing rocks after mineralization plays an important role in the ore preservation, and their relation is one of major issues of mineral deposit geology. The number percentage and area proportion of intermediate-acid intrusive bodies are regarded as two indexes of mountain exhumation degree in this paper. The temperature-space distribution of current outcropped deposits in Tianshan range not only is helpful for understanding the relationship between the mountain exhumation with the preservation of early-formed deposits, but also facilitates further ore-prospecting. Statistics results show that there are very few number and little area proportion of intermediate-acid intrusive bodies in Yilianhabigaer mountain in western segment of north Tianshan, Bogeda mountain in middle segment of north Tianshan, and southwest Tianshan, where there are only few outcropped metal ore deposits mainly characterized by epithermal mineralization. And relative deeply intrusive rocks, as well as lots of large to super-large intrusive-rock-related meso-hypothermal ore deposits, are widely exposed in Jueluotage area in southern part of north Tianshan, middle Tianshan unit, and Kuluketage area in eastern segment of south Tianshan. Previous data from fission track dating of apatite shows that Yilianhabigaer mountain, Bogeda mountain, and southwest Tianshan in-

基金项目: 国家重点基础研究发展计划资助项目(No. 2007CB411305); 国家自然科学基金项目(No. 41072071); 全国危机矿山接替资源找矿项目(No. 20089950)。

作者简介: 陈正乐(1967—), 男, 研究员, 主要从事矿田构造方面研究。E-mail: chengzhengle@263.net

initially uplifted at the end of the Mesozoic, followed by rapid uplift and deformation since about ca. 25 Ma. Mountains in middle Tianshan, southern part of north Tianshan, and eastern segment of south Tianshan begun to uplift rapidly and denudate since the Early Jurassic, but only weak uplift occurred in the Cenozoic. The outcropped rocks, the distribution characteristics of metal ore deposits, and the uplift-exhumation process of mountains suggest that superficial volcano-sedimentary rocks are still preserved in Yilianhabigaer mountain, Bogeda mountain, and southwest Tianshan, because of shallow erosion as response to short-time sustained denudation and rapid uplift during the late Cenozoic, leading to exposure of few intermediate-acid intrusive bodies and mostly epithermal metal deposits at the surface. While those superficial volcano-sedimentary rocks in middle Tianshan, southern part of north Tianshan, and eastern segment of south Tianshan probably have already been denudated away due to long-time erosion since the Middle Mesozoic and weak deformation in the Cenozoic, and deeply intrusive rocks and meso-hypothermal ore deposits widely outcropped at the surface as a result. As to the ore-prospecting in distinct units of Tianshan range, it is suggested that various types of deposits with different ore-forming temperature should be focused on at the surface and there is favorable mineralization potential in southwest Tianshan. It also shows that the exhumation diversity of mountain is one of the most important reasons for the popular saying that “large deposits are limited within the national boundary”.

Key words: Tianshan range; exhumation degree; ore preservation; tectonics; ore deposit.

中亚造山带在古生代期间多阶段的壳幔相互作用导致了大规模成矿作用的发生,形成了一系列大型—超大型矿床,中生代陆内破坏和调整过程中,特别是受印度—欧亚大陆碰撞及其陆陆汇聚的远程效应影响,极大地改变了古生代中亚造山带的构造格局,也影响了古生代矿产再定位、剥蚀和保存(舒良树等,2004)。目前,中亚成矿带不同构造单元内发现的大中型矿床在类型和数量上存在较大的差异;天山山脉也不例外,与境外天山对比,甚至有所谓的“大矿不过国界”之论(何国琦和朱永峰,2006;朱永峰等,2007;戴自希,2008)。前人已有的研究侧重于天山山脉的古生代地质构造演化与成矿作用(Yin *et al.*, 1998;秦克章等,2003;舒良树等,2004;赵仁夫等,2006;杨富全等,2007;朱永峰等,2007),但少有涉及到中生代陆内改造阶段、天山山体的再造过程中山体的隆升—剥露程度对早期(主要是古生代)形成矿产的改造作用(舒良树等,2004)。

大多数的内生金属矿产,都有一定的原始形成深度(张德会等,2007),成矿期后往往经历了多期次的改造与叠加。一些含矿地质体,由于成矿之后经历了多期次强烈的隆升和剥露而被剥蚀殆尽、消失,或者由于其形成深度太深、后期剥露程度不够、而且目前的勘探手段无法探知而暂时不能为人类所利用(因而目前还不能称之为矿床),而另一些含矿地质体则处于合适的剥露程度而出露于地表或保存于地表以下一定的深度,能为人类所探知、开发和利用,称之为矿床。因此,矿床学研究应兼顾矿床的形成过程和矿床的改造—保存过程两个方面。然而由于缺乏合适的研究对象,前人大多只关注矿床的形成过程,对成矿后的变化与保存研究较少(翟裕生等,

2000; Kesler and Wilkinson, 2006; Wilkinson and Kesler, 2007; Makshev *et al.*, 2009; 柳振江等, 2010)。

事实上,许多内生金属矿床的形成与各种岩浆作用关系密切,特别是与深成岩浆的侵位作用密切相关(张德会等,2007);岩体的侵位不仅带来了大量的成矿物质,同时也为成矿作用的发生提供了热源和能量(邱家骧,1991)。主要的内生金属矿产,如 Cu、Au、Mo、Pb、Zn 等,尤其是以斑岩型为代表的 Cu、Mo、Au 矿等,其形成与中酸性岩浆侵位作用密不可分。温压条件计算表明,中酸性岩浆的侵位深度一般大于 3 km,平均在大约 10 km 左右,有的可深达 20 km(邱家骧,1991;张德会等,2007;柳振江等,2010),体现在岩石结构构造和矿物成分的变化及其相带的分布上。因此与岩浆侵入作用有密切关系的矿床形成深度与岩浆的侵位深度密切相关,都有其一定的原始成矿深度。然而由于地质体成矿期后构造剥蚀程度的差异,中酸性岩体及其相关的矿床现今定位的深度(离地表的距离)具有一定的差异(张德会等,2007)。本文即选择天山为研究对象,以中酸性侵入岩体的出露特征为指标,结合磷灰石裂变径迹测试分析结果以及已经勘探发现的矿产展布特征分析,开展了对天山山体隆升—剥露特征与矿床保存之间关系的初步研究,并试图探讨天山山体找矿方向与前景。

1 区域地质背景

天山山脉南北分别与塔里木盆地和准噶尔盆地接壤,向西与中亚地区(吉尔吉斯斯坦和哈萨克斯坦)

的天山接壤. 天山山脉前古生代地质体出露零星(张良臣和吴乃元, 1985; 新疆维吾尔自治区地质矿产局, 1993), 最古老的地质体为太古界变质杂岩和侵入岩, 分布于东天山的库鲁克塔格地区, 元古界地质体除库鲁克塔格地区外, 还零星见于地质意义上的中天山地质体内(图 1). 天山山脉出露的地质体主体为古生代以来形成的, 以海相火山沉积岩系为主, 及其内的各种侵入岩和变质岩. 这些地质体都不同程度地遭受了中生代构造变形的改造. 中生代以来的地质体主要分布于山脉的山间盆地及其山体两侧的山前盆地之中, 以陆相沉积岩系为主, 东天山局部出露三叠纪至早侏罗世的酸性小侵入体, 在西南天山的托云盆地有白垩纪晚期的玄武岩侵位. 天山山体内部, 发育了多条近东西走向、北西走向和北东走向的大型断裂, 切割了各种地质体. 这些断裂在不同地质时期都具有不同规模的逆冲和走滑运动(舒良树等, 2004).

对于天山山脉构造单元的划分, 前人也已有大量的阐述(新疆维吾尔自治区地质矿产局, 1993; Charvet *et al.*, 2007), 在南北方向上大致以博罗科努断裂—阿其克库都克断裂、哈尔克山—包尔图断裂为界, 将天山分为 3 个构造单元: 北天山、中天山和南天山(图 1 中的 I、II 和 III), 不难发现中天山在构造单元划分图上, 大致呈楔形. 在东西方向上, 天山的地理单元大致以乌鲁木齐—库尔勒为界可以划分为东天山和西天山(图 1 中的 AB 线).

2 天山造山带中酸性岩浆出露特征

在查阅现有的 1 : 20 万地质图基础上, 根据 1 : 50 万新疆地质图和新疆地质志资料(新疆维吾尔自治区地质矿产局, 1993), 笔者粗略统计了境内天山造山带不同构造分区内中酸性岩体的出露个数和

面积. 统计时, 以 1 : 50 万地质图为底图, 统计出露面积大于 10 km² 中酸性岩体的个数和面积; 其次, 分区面积计算时, 由于吐哈盆地面积较大, 计算时已经予以扣除, 但天山山体内部的其他中生代盆地, 如伊犁盆地、昭苏盆地和大小尤路都斯盆地等, 都包含在分区面积之内, 没有扣除.

根据天山造山带东西和南北向的地貌和地质构造特征, 我们共分 7 个构造—地貌分区统计. 其中: 1 区相当于北天山的西段, 东大约以乌鲁木齐—后峡盆地一线为界, 南以中天山和北天山分界断裂—博罗科努断裂为界, 由依连哈比尕尔山组成主体部分; 2 区大致相当于北天山的中段, 包括了博格达山, 东至木垒东—哈密西; 3 区主要由哈尔里克山组成; 4 区包括了吐哈盆地南缘的东天山南部, 以觉罗塔格为主, 南以阿其克库都克断裂为界, 在地质构造单元上, 仍属于北天山的范畴; 上述的 1~4 区和吐哈盆地构成了北天山构造单元; 5 区主要包括了中国境内的中天山构造单元, 北侧以博罗科努—阿其克库都克断裂、南以哈尔克山—包尔图断裂为界(新疆维吾尔自治区地质矿产局, 1993); 6 区主要为西南天山, 包括我国境内的西南天山造山带, 其东侧大约位于库尔楚—焉耆盆地西缘一线, 大致与地理意义上的东天山和西天山分界线一致; 7 区主要包括东天山南段, 以库鲁克塔格为主体(图 1), 南侧以捷山子断裂为界(新疆维吾尔自治区地质矿产局, 1993). 6 和 7 区共同构成了南天山构造单元.

利用 Mapgis 版的 1 : 50 万新疆地质底图和软件分别计算各分区的面积和中酸性岩体的面积及个数. 统计结果如表 1 和图 2、3 所示.

统计结果显示, 中酸性岩体的个数和出露面积百分比的结果基本一致. 1 区, 即北天山西段的依连哈比尕尔山出露中酸性岩体的个数为最小, 只有 7 个, 只占总岩体数的 1.04%, 岩体出露面积占该区总面

表 1 天山山脉不同分区内中酸性岩体个数和面积统计结果

Table 1 Number and area proportion of intermediate-acid intrusive bodies in different units of the Tianshan range									
构造分区	酸性岩体数量(个)	中性岩体数量(个)	中酸性岩体合计数(个)	占总岩体数的比例(%)	酸性岩体面积(km ²)	中性岩体面积(km ²)	中酸性岩体面积合计(km ²)	分区总面积(km ²)	面积百分比(%)
1 区: 北天山西段	5	2	7	1.04	234.64	40.21	274.85	24 153.99	1.14
2 区: 北天山—博格达	9	2	11	1.64	136.79	44.60	181.39	29 871.22	0.61
3 区: 北天山东段	62	11	73	10.88	6 154.56	570.44	6 725.00	31 005.88	21.69
4 区: 北天山南部	117	20	137	20.42	6 390.83	491.12	6 881.95	48 463.85	14.20
5 区: 中天山	203	26	229	34.13	18 285.96	826.69	19 112.70	92 617.76	20.64
6 区: 西南天山	35	2	37	5.51	3 249.10	125.52	3 374.62	108 273.42	3.12
7 区: 东天山南段	131	46	177	26.38	26 450.56	1 665.68	28 116.20	83 159.70	33.81
合 计	562	109	671	100.00	60 902.44	3 764.26	64 666.70	417 545.82	15.49

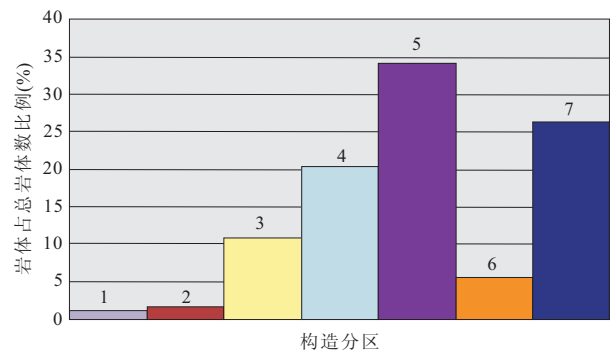


图 2 天山山脉不同构造分区中酸性侵入岩体个数百分比
Fig. 2 Number percentage of intermediate-acid intrusive bodies in different tectonic unites of the Tianshan range
1. 北天山西段;2. 北天山中段(博格达山);3. 北天山东段(哈尔里克山);4. 北天山南部;5. 中天山;6. 西南天山;7. 南天山东段

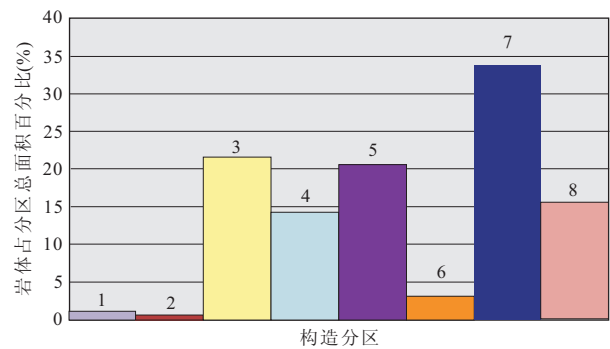


图 3 天山山脉不同构造分区中酸性侵入岩体面积与分区面积比例
Fig. 3 Area-proportion of intermediate-acid intrusive bodies to the tectonic unit in the Tianshan range
1. 北天山西段;2. 北天山中段(博格达山);3. 北天山东段(哈尔里克山);4. 北天山南部;5. 中天山;6. 西南天山;7. 南天山东段;8. 平均值

积的百分比只有 1.14%;2 区,即北天山的博格达山段出露中酸性岩体的个数只有 11 个,占整个天山山脉中的百分比只有 1.64%,面积百分比为最小,只有 0.61%;3 区,即北天山东段的哈尔里克山一段,中酸性岩体的个数百分比不大,只占 10.9%,但面积百分比达 21.7%;4 区(北天山南部)的中酸性岩体所占比例较大,大约为 1/5,但是面积百分比不大,只有 14.2%;5 区主要为中天山,其中中酸性岩体个数比例最大,约占 1/3,由于统计时没有扣除伊犁盆地和昭苏盆地的面积,因而中酸性岩体出露的面积占所在分区面积百分比不大,但也达 20.64%;6 区(西南天山)中酸性岩体个数达 37 个,只占总个数的 5.5%,面积百分比只有 3.12%;7 区(东天山南段)的中酸性岩体个数比例很高,虽然不是最大

(26.38%),但所占的分区面积比例为最大,达 33.81%.

3 天山造山带内生金属矿产分布特征

天山造山带是我国重要的成矿区带之一,已有大量的内生金属矿床,包括铜、铅锌和金、银等被发现.根据现有的资料和文献检索,笔者收集了部分关于天山造山带矿床的资料,主要包括矿床成因、矿产类型、成矿时代、温压条件、成矿深度、流体性质和来源及其剥蚀程度等数据(陈衍景,2000,2006;芮宗瑶等,2002;秦克章等,2003;王玉往等,2006;赵仁夫等,2006;周锦,2006;杨富全等,2007;朱永峰等,2007;祝新友等,2010),还收集了其他一些区调报告和相关图件,初步编制了天山造山带 1:500 万部分金属矿产分布简图(图 1).

矿床资料分析和编图结果显示:(1)北天山的西段依连哈比尕山发现的矿床数量很少,仅见有少量在火山岩中发育的铜矿化点;中段的博格达山除在山前发现一些风化型赤铁矿化点和中—上石炭统及二叠系基性火山岩中发育的、与热液脉有关的铜矿化点外(周锦,2006),基本上没有发现其他内生金属矿产;在境内西南天山,目前发现的矿床数量也较少,除少数(1~2 个)在花岗岩体周缘发育的成矿温度稍高的矽卡岩型铁矿化点外,已发现的代表性矿床包括了中小型的霍什布拉克、萨热塔什 MVT 型铅锌矿等、大型的乌拉根矽砾岩型铅锌矿(祝新友等,2010)及其小型的赋存于新生代矽砾岩中的滴水、花园和杨叶铜矿等;此外,在与吉尔吉斯斯坦边界接壤处西南天山的古生代黑色岩系中发现了中型的破碎蚀变岩型的萨瓦亚尔顿金锑矿(杨富全等,2007)、古生代沉积岩中的低温热液脉型的卡拉脚古崖金锑矿等,这些已有发现的矿床成矿温度都以低温为典型特征.(2)在中天山构造单元、北天山南部(觉罗塔格地区)和南天山东段,目前发现的金属矿产都较多,为我国天山重要的矿集区,矿床成因类型包括岩浆岩型、矽卡岩型、斑岩型和沉积—变质型矿床(芮宗瑶等,2002;秦克章等,2003;王玉往等,2006;朱永峰等,2007),成矿温度普遍以中高温为主,包含了铁、铜、金、铅锌和铜镍矿等,其中金矿类型最为复杂多样,还包括了石英脉型金矿和剪切带型金矿(陈衍景,2000),这两种类型的金矿成矿温度稍低,铅锌矿的成矿温度也有中低温类型.(3)北天山东段的哈尔里克山,最近几年找矿也取得了一定的进展,发现了一定数量的内生金属矿床,除

热液脉型铜矿化外,发现有与中酸性侵入岩有关的矽卡岩型及斑岩型铜矿化、钨矿化等(周锦,2006)。

4 山体隆升—剥露特征

现今的山体特征是:以觉罗塔格、库鲁克塔格为代表的整个东天山南段地形平坦,东天山北部的博格达峰山体耸立,终年白雪皑皑,与南侧的吐哈盆地艾丁湖形成了世界上海拔落差最大的盆山地貌,东侧的哈尔里克山则相对于博格达山要低;北天山西部和西南天山也是地形海拔高差大,山体耸立,部分地区常年白雪覆盖,与两侧的山前盆地都具有相当大的落差;中天山构造单元内,科古琴山、与伊犁盆地、昭苏盆地等则构成了造山带内部的盆山地貌格局(舒良树等,2004)。

对于天山山脉隆升剥蚀程度,前人研究较多,一是根据不整合面的发育情况(张良臣和吴乃元,1985)、山脉内部及其周缘盆地的沉积构造演化来分析山体的隆升历史(Yin *et al.*, 1998);二是采用磷灰石裂变径迹测试分析的手段(Hendrix *et al.*, 1994; Bullen *et al.*, 2001; 郭召杰等,2002,2006; Edward *et al.*, 2006; 朱文斌等,2006; 陈正乐等,2008; 沈传波等,2008; 王宗秀等,2008; 张志勇等,2008; 刘红旭等,2009),研究了天山不同段的隆升过程。本次研究,笔者系统地总结了自己前期的工作成果,同时收集了前人磷灰石裂变径迹的测试分析结果,依此分析山体的隆升剥蚀特征。部分测试结果见图4所示。

综述前期的研究成果显示,天山山脉不同地段的隆升剥蚀历史差别较大。

4.1 北天山

北天山裂变径迹测年结果较多,主要分布于依连哈比尔尕山及其山前的沉积盆地内和博格达山、库尔勒—后峡—乌鲁木齐国道沿线的后峡盆地周缘等区域,测试的岩石主要以中酸性火山岩为主。虽然锆石测年数据显示出北天山山体的最早隆升出现于中生代,依连哈比尕山开始于大约为134~118 Ma,博格达山在中生代晚期出现过隆升作用(朱文斌等,2006; 王宗秀等,2008);但是根据磷灰石裂变径迹测试的结果推测,依连哈比尕山新生代最早隆升开始于68 Ma(沈传波等,2008),博格达山的隆升开始于中生代晚期,大约为65 Ma(王宗秀等,2008)或者87 Ma(朱文斌等,2006);曹金舟(2009)通过准噶尔盆地南缘磷灰石裂变径迹的测试结果,认为依连哈

比尔尕山的初始隆升开始于白垩世晚期(78 Ma);马前等(2006)获得的北天山初始隆升的时间为78 Ma,总之,北天山磷灰石裂变径迹测试结果普遍显示出山体的隆升开始于中生代晚期—新生代早期,此外,前人的测试结果显示出北天山山体在25 Ma左右出现强烈的隆升,被解释为印亚碰撞的远程效应(Hendrix *et al.*, 1994; 沈传波等,2008; 王宗秀等,2008)。

在北天山东段的哈尔里克山,根据朱文斌等(2006)的锆石和磷灰石裂变径迹测试结果及其反演模拟分析,北天山东段的哈尔里克山第一期次的剥露发生于在早白垩世(119~108 Ma);第二期次的剥露作用发生于新生代早期(67~65 Ma);第三和第四次剥露分别发生于47~31 Ma和12~7 Ma。

结合现今的地貌特征分析,推断依连哈比尕山、博格达山山体由于隆升起始时间较晚(晚白垩世晚期—新生代早期),而且由于新生代大约25 Ma以来强烈的隆升作用,同时新生代变形强烈,因而山体耸立,虽然现今的剥蚀速度较大,但是剥蚀量和剥蚀程度较低;北天山东段的哈尔里克山,山体隆升的起始时间稍早,新生代25 Ma以来的山体隆升幅度较小,因而剥蚀量和剥蚀程度较博格达山要多和高。

4.2 中天山

在中天山构造单元,根据笔者前期的工作(陈正乐等,2008)推测,中天山在中新生代期间共发生了3期次的快速冷却作用,分别为早侏罗世(200~180 Ma)、白垩纪中期(115~95 Ma)和新生代期间(24 Ma以来);马前等(2006)根据在冰达坂和巴伦台等地测得的磷灰石裂变径迹年龄,推测山体的剥露作用开始于白垩纪晚期(大约80 Ma);郭召杰等(2006)通过磷灰石裂变径迹测年分析,认为天山存在晚侏罗—早白垩世和中新生(25 Ma)以来两期的构造隆升—剥露事件。

因此,中天山地区的最早构造隆升开始于早侏罗世,同时存在侏罗纪中期和新生代(24 Ma以来)两期次强烈的构造隆升,并存在区域性的断块隆升与断陷并存现象,因而山体的剥露程度和剥蚀量较大,伊犁盆地南部的中天山剥蚀程度可能最高,科古琴山等中天山北部区段起始隆升的时间晚于中天山南部,剥蚀程度稍差,但是总体上除伊犁盆地由于中新世代的长期断陷外,山体的剥蚀程度还是较高的。

4.3 北天山南部和南天山东段

包括觉罗塔格和库鲁克塔格在内的东天山南段的磷灰石裂变径迹测试结果不多,只有郭召杰等

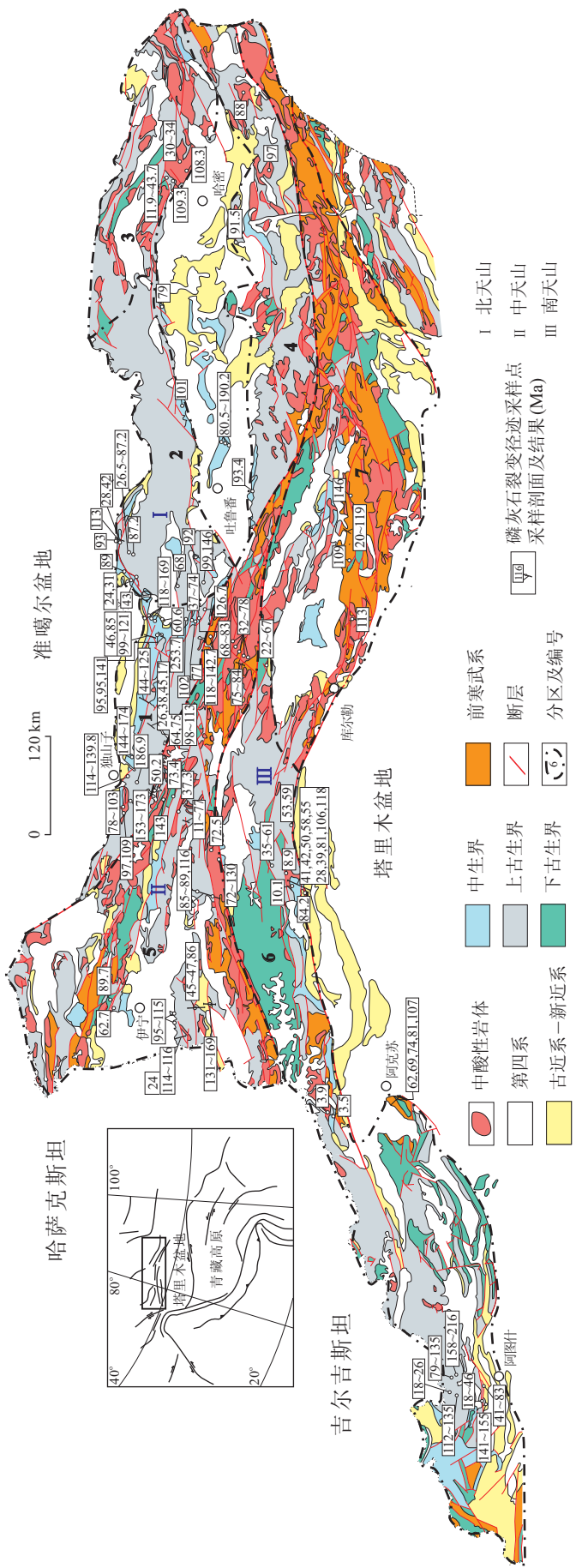


图 4 天山山脉部分磷灰石裂变径迹测试结果分布 (此图国界线非标准依据, 图中构造分区同图 1)

Fig. 4 Distribution of parts of analyses data from the fission track dating of apatite

图中测年数据引自于郭召杰等 (2002, 2006)、朱文斌等 (2006)、王宗秀等 (2008) 和沈传波等 (2008) 等测试结果修编

(2002)测试了东天山阿齐山和尾亚两个岩体的磷灰石和锆石的裂变径迹年龄,分别为磷灰石 88 Ma 和 97 Ma,锆石为 153 Ma 和 184 Ma,认为该区的基底隆升发生在新生代以前,白垩纪以后该区没有发生过快速的隆升;朱文斌等(2007)测得东天山南段库鲁克塔格地区花岗岩和片岩中磷灰石裂变径迹年龄大都位于 146~70 Ma;测试结果都体现出,东天山南段山体起始隆升的时间较早,处于侏罗纪,而且新生代的隆升作用很不明显。

总之,觉罗塔格和库鲁克塔格地区,在侏罗纪就开始隆升,新生代变形微弱,没有强烈的构造隆升,由于剥蚀时间长,因而剥蚀量大,剥蚀程度高,造成了现今地形平坦,剥蚀速度小的特征。

4.4 西南天山

西南天山由于可测试的花岗岩出露不多,因而针对花岗岩磷灰石裂变径迹测年数据不多;张志勇等(2008)测得阿克苏蓝片岩地区磷灰石裂变径迹年龄较老,位于 65~107 Ma 之间;刘红旭等(2009)测得塔里木盆地北缘的萨瓦普齐和塔里克地区花岗岩中磷灰石裂变径迹年龄分别为 3.5~3.9 Ma 和 53~59 Ma 之间;Edward *et al.* (2006)测得西南天山柯坪塔格等地区及其不同断层上下盘古生代碎屑岩和中新生代沉积岩石中的磷灰石裂变径迹年龄,变化很大,位于 215~11.2 Ma 之间,推测主要是和区域性的断裂活动及其局部的块体活动有关。已有资料表明,西南天山与博格达山类似,虽在早期(中生代)可能存在一定规模的隆升,但是强烈的构造隆升发生在新生代 24 Ma 以来,由于剥蚀时间短,剥蚀量小,剥蚀程度低,故现今山体耸立,地形落差剧烈。

5 讨论

5.1 山体隆升—剥露特征及其与内生金属矿产展布特征之间的关系

对比分析天山山体不同单元内地质体出露特征,特别是中酸性岩体的出露个数和面积比例,结合磷灰石裂变径迹推测的山体剥蚀程度分析以及已发现的矿产展布特征,不难得到如下的认识(图 1、图 4、图 5):

(1)北天山西部依连哈比尕山、中段的博格达山和西南天山由于山体主要是在中生代晚期才开始隆升,同时由于受印亚碰撞及其陆陆汇聚的远程效应影响,新生代隆升强烈,因而剥蚀时间相对较短,剥

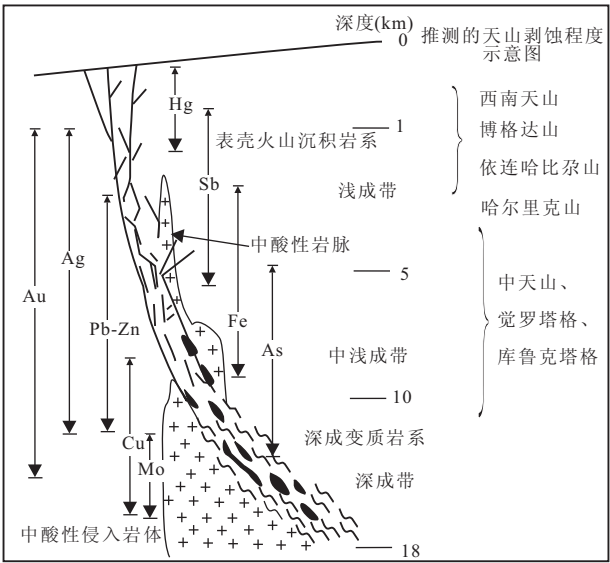


图 5 天山推测的剥蚀程度与造山型矿产关系示意(底图据陈衍景,2006)
Fig. 5 Inferred erosive degree of different units in the Tianshan range and its relationship to the orogenic-type deposits

蚀程度相对较浅,晚古生代裂谷沉积环境的表壳岩系(火山—沉积建造)仍出露于地表接受剥蚀,深成侵位的中酸性深成岩体(或岩基)还没有剥蚀出露于地表,因而目前山脉皆由晚古生代的沉积—火山地层构成了山体的主体,地表中酸性岩体出露个数和分布面积比较小,仅在局部可见到少量辉长岩及其浅成侵位的辉绿岩、辉长玢岩等。因此,在这些地区与中酸性侵入岩密切相关的内生金属矿床发现数量少,在博格达山仅见有热液脉型的铜矿化,在西南天山发现的主要矿床除有限的极少数矽卡岩型铁矿、发育于古生界黑色岩系中的锑金矿外,大都为发育于中生界碳酸盐岩中的沉积—改造型铅锌矿和汞锑矿,以及新生界砂砾岩中的铅锌矿和铜矿,主要体现出低温成矿的特征。

(2)北天山南部的觉罗塔格、东天山南段的库鲁克塔格及中天山等,从中生代就开始剥蚀,而且新生代没有发生强烈的隆升,因此其剥蚀程度较大,原始的表壳岩系(火山沉积建造)已经剥蚀殆尽,刚好出露了深成的侵入岩体及其围岩,故中酸性岩体出露个数多,面积百分比大。因而在觉罗塔格和库鲁克塔格地区,山体主要由在岛弧环境的火山沉积建造或者前寒武系、及其大面积出露花岗岩—超基性岩体或岩基构成山脉主体,目前已经勘探发现了大量大型—超大型规模内生金属矿床,如岩浆岩型、斑岩型和矽卡岩型矿床,以中高温成矿为特征,中低温的矿

床(主要为金矿)主要展布于断裂带旁侧。

在中天山也分布有为数众多的花岗岩、超基性岩,也发现了大量中高温的岩浆岩型、矽卡岩型 Fe-Cu 矿、斑岩型铜矿等,也以典型的中高温成矿为特征,中低温的成矿作用主要发育于天山山脉中间的大型韧性剪切带内(图 1 和图 5),与东天山南部十分类似。

5.2 对天山区域找矿启示

根据山脉的隆升—剥蚀程度及其成矿温度的分析,结合陈衍景(2006)有关造山型矿产的成矿模式(图 5),笔者进一步推测,在天山不同地区应该寻找不同类型的矿床(图 6):

(1)在西南天山、东天山博格达山及依连哈比尕山等地区,总体上在地表应该以寻找中低温(造山型)矿产,如中低温沉积—改造型 Pb-Zn 矿床,或砂岩型 Pb-Zn-Cu 和 U 矿,或低温的 Hg-Sb 矿、Sb-Au 矿等,在有限出露的几个花岗岩体周缘寻找与岩浆有关(中高温)的矿床,如矽卡岩型、斑岩型的 Fe 矿、Cu 矿。

根据成矿温度的指示意义(图 5),上述这些地方在深部可以考虑中温,甚至高温的矿产,这也意味着西南天山和博格达山的深部应该具有较好的找矿空间。特别是西南天山,我国境内地表已发现了相当数量的 Hg、Au、Sb 和 Pb、Zn、Cu 等矿床,与其相邻的境外南天山(吉尔吉斯斯坦和哈萨克斯坦)也已经发现了多个大型 Hg、Sb、Au 和 Cu、Pb、Zn 矿,我国西南天山的成矿条件与其类似(刘德权等,2004;何国琦和朱永峰,2006;戴自希,2008),属于境外南天山的延伸部分,指示了我国西南天山也具有同样好的找矿前景。

(2)在北天山南部的觉罗塔格、南天山东段的库鲁克塔格和中天山等地区,由于地表剥蚀相对较深,应该以寻找与岩浆有关为主的中高温矿床,如岩浆型 Cu-Ni 矿、斑岩型 Au-Cu 矿、矽卡岩型 Fe-Cu 矿;在远离中酸性侵入岩体的部位,寻找中低温热液矿产,如在火山—沉积岩系中寻找中低温的沉积—改造型的 Pn、Zn 矿和黑色岩系中的 Au 矿等;同时,在断裂破碎带附近可以寻找中低温的热液型矿床,如韧性剪切带型和石英脉型 Au 矿。

5.3 对所谓“大矿不过国界”原因的分析

天山山体往西延伸,分别延入哈萨克斯坦和吉尔吉斯斯坦境内。境外的勘探结果表明,在哈萨克斯坦和吉尔吉斯斯坦境内的天山地区目前勘探已经发现了大量的内生金属矿产(何国琦和朱永峰,2006;戴自

希,2008),为全球重要的成矿区带之一。然而,与其相连的天山山脉,特别是我国的西南天山,与吉尔吉斯斯坦和哈萨克斯坦相比,在我国境内发现的内生金属矿产无论在数量和矿床的规模上,都远远小于境外的天山,因此有所谓的“大矿不过国界”之说。

当然,“大矿不过国界”的原因可能很多,如矿床的勘探和开发程度(勘探密度和深度、开发的时间等)、成矿的大地构造背景及其特殊成矿条件等方面存在差别外,笔者认为山体剥蚀程度的差异也是西南天山与境外天山在矿床发现方面存在差异的主要原因之一。

根据吉尔吉斯斯坦和哈萨克斯坦公开出版的地质图,对比分析我国西南天山的地质图,可以发现,在境外天山(主要为吉尔吉斯斯坦和哈萨克斯坦境内天山)花岗岩、闪长岩等深成岩体在地表出露的个数和展布面积占有比例都大,远远大于我国的西南天山;磷灰石裂变径迹测年结果显示,哈萨克斯坦地区山体的隆升时间往往集中于晚中生代,吉尔吉斯斯坦境内的北天山山脉隆升的开始时间较早(De Grave *et al.*, 2011),而南天山初始隆升的时间同样较晚;在矿产图中同样可以发现,在吉尔吉斯斯坦境内天山现今发现的内生金属矿产,主要分布于北天山和中天山,而且大都为中高温的斑岩型、矽卡岩型矿床,但在吉尔吉斯斯坦的南天山,除在黑色岩系中发现了超大型的 Kumtor 金矿外,主要发现的是汞锑矿和部分铅锌矿,特别是东阿赖,发现了世界上最大的汞锑矿矿集区(何国琦和朱永峰,2006)。

因此,笔者推测,由于我国境内的天山,总体上山体隆升相对较晚,特别是西南天山由于受新生代印亚大陆碰撞及其随后汇聚作用的远程效应影响较大,新生代改造作用强烈,导致境内的西南天山山体目前还没有剥蚀到与内生金属矿床发育密切相关的深成岩体暴露于地表,因而在地表出现小矿、少矿甚至无矿的状态;而境外天山山体总体上开始隆升时间稍早,晚期受印亚碰撞的远程效应不如我国天山强烈,因而总体上剥蚀量较大,剥蚀程度高于我国天山,导致了大规模的中酸性深成侵入岩体在地表大面积的出露,因而总体上在浅表发现的内生金属矿产远远多于我国的西南天山,造成了所谓的“大矿不过国界”的假象。事实上,在吉尔吉斯斯坦境内的南天山,主要得益于前苏联的地质工作,其勘探程度和科学研究程度,远远高于我国的西南天山。因此,我国西南天山在汞锑等低温矿床的成矿远景和深部的其他内生金属矿产上都应该具有较好的找矿空间。

6 结论

(1)天山山脉中出露面积大于 10 km^2 的中酸性侵入岩体的个数和面积统计结果显示,北天山西段岩体个数与总岩体个数的比例最小,其余依次为北天山博格达段、西南天山、北天山东段、北天山南部的觉罗塔格地区、南天山东段和中天山;中酸性侵入岩体出露面积占所在分区的百分比中,北天山的博格达山段为最小,其余依次为北天山西段、西南天山、北天山南部的觉罗塔格地区、中天山、北天山东段和南天山的东段;(2)天山山体不同地区的隆升和剥蚀程度差异较大:北天山西段的依连哈比尕山、中段的博格达山及其西南天山山体最早的隆升开始于中生代晚期,但新生代期间山体的隆升作用剧烈;北天山东段的哈尔里克山,山体隆升的起始时间稍早,但是新生代隆升弱于博格达山;中天山地区山体的隆升开始时间最早,同时存在多期次的断块隆升与断陷;北天山南部的觉罗塔格地区和南天山东段的库鲁克塔格地区在侏罗纪就开始隆升,新生代变形微弱,没有强烈的构造隆升;(3)现今矿产空间展布具有如下规律:北天山西段、博格达山和西南天山目前发现的内生金属矿产数量少,规模小,成矿温度以低温为特征;在中天山、北天山南部的觉罗塔格地区和南天山东段,目前发现的金属矿产的数量都较多,而且规模往往较大,为我国天山重要的矿集区,虽然伴随有大型韧性剪切带型的中低温金矿,但是总体上以高温成矿为特征;(4)综合分析区认为依连哈比尕山、博格达山和西南天山等地由于剥蚀程度浅,地表仍出露原始的表壳火山—沉积岩系,中酸性深成岩体出露小,故与其相关的内生金属矿产数量少、规模小,成矿温度较低;觉罗塔格、库鲁克塔格及中天山等地区,剥蚀程度较大,表壳岩系已经剥蚀殆尽,出露了深成的侵入岩体及其围岩,故中酸性岩体出露个数多,面积百分比大,发现的内生金属矿床数量多,规模大,且往往以高温成矿为特征;(5)西南天山、博格达山和依连哈比尕山等应在地表寻找低温矿床,在觉罗塔格、东南天山和中天山等地区,可以寻找与岩浆有关的中高温矿床,同时在断裂破碎带附近寻找中低温的热液型矿床;对比分析,认为所谓的“大矿不过国界”原因之一就是山体剥蚀程度的差异性,推测我国的西南天山深部和外围都具有较好的找矿前景。

致谢:感谢匿名审稿人提出了很多中肯的建议,使作者收益颇丰!

References

- Bullen, M. E., Burbank, D. W., Garver, J. I., et al., 2001. Late Cenozoic tectonic evolution of the northwestern Tien Shan: new age estimates for initiation of mountain building. *Geology Society of American Bulletin*, 113 (12): 1544—1559. doi: 10.1130/0016-7606(2001)113 <1544:lctet>2.0.co
- Cao, J. Z., 2009. Fission track dating on apatite in the southern margin of Junggar basin and its tectonic implication. *Journal of Northwest University (Natural Science Edition)*, 39(4): 649—655 (in Chinese with English abstract).
- Charvet, J., Shu, L. S., Charvet, S. L., 2007. Paleozoic structural and geodynamic evolution of eastern Tian Shan (NW China): welding of the Tarim and Junggar plates. *Episodes*, 30(3): 162—186.
- Chen, Y. J., 2000. Progress in the study of Central Asia-type orogenesis-metallogenesis in Northwest China. *Geological Journal of China Universities*, 6(1): 17—22 (in Chinese with English abstract).
- Chen, Y. J., 2006. Orogenic-type deposits and their metallogenic model and exploration potential. *Geology in China*, 33(6): 1181—1196 (in Chinese with English abstract).
- Chen, Z. L., Li, L., Liu, J., et al., 2008. Uplifting-exhumation process of the western Tian Shan range, northwestern China. *Acta Petrologica Sinica*, 24(4): 625—636 (in Chinese with English abstract).
- Dai, Z. X., 2008. Focus on large-scale metal deposits on overseas nearby border. *China Metal Bulletin*, 17: 32—34 (in Chinese).
- De Grave, J., Grave, J. D., Bulslov, M. M., et al., 2011. The thermo-tectonic history of the Song-Kul plateau, Kyrgyz Tian Shan: constraints by apatite and titanite thermochronometry and zircon U/Pb dating. *Gondwana Research*, 20 (4): 745—763. doi:10.1016/j.gr.2011.03.011
- Edward, R. S., Chen, J., Hermance, V. R., 2006. Late Oligocene-Early Miocene initiation of shortening in the southwestern Chinese Tian Shan: implications for Neogene shortening rate variations. *Earth and Planetary Science Letters*, 247(1—2): 70—81. doi: 10.1016/j.epsl.2006.03.048
- Geology Minerals Bureau of Xinjiang Uygur Autonomous Region, 1993. Regional geology reports of Xinjiang Uygur Autonomous region. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Guo, Z. J., Zhang, Z. C., Liao, G. H., et al., 2002. Uplifting process of eastern Tianshan Mountains: evidence from

- fission-track age and its tectonic significance. *Xinjiang Geology*, 20(4): 331—334 (in Chinese with English abstract).
- Guo, Z. J., Zhang, Z. C., Wu, C. D., et al., 2006. The Mesozoic and Cenozoic exhumation history of Tianshan and comparative studies to the Junggar and Altai Mountains. *Acta Geologica Sinica*, 80(1): 1—15 (in Chinese with English abstract).
- He, G. Q., Zhu, Y. F., 2006. Comparative study of the geology and mineral resources in Xinjiang, China, and its adjacent regions. *Geology in China*, 33(3): 451—460 (in Chinese with English abstract).
- Hendrix, M. S., Dumitru, T. A., Graham, S. A., 1994. Late Oligocene-early Miocene unroofing in the Chinese Tian Shan: an early effect of the India-Asia collision. *Geology*, 22: 487—490. doi: 10.1130/0091-7613(1994)022<0487:LOEMUI>2.3.CO;2
- Kesler, S. E., Wilkinson, B. H., 2006. The role of exhumation in the temporal distribution of ore deposits. *Economic Geology*, 101(5): 919—922. doi: 10.2113/gsec-101.5.919
- Liu, D. Q., Tang, Y. L., Zhou, R. H., et al., 2004. Mineralization characters and perspective analysis of super-large-sized ore deposits in Xinjiang and its adjacent areas. *Geology and Mineral Resources of South China*, (3): 1—12 (in Chinese with English abstract).
- Liu, H. X., Dong, W. M., Liu, Z. Y., et al., 2009. Mesozoic-Cenozoic tectonic evolution and its relation to sandstone-type uranium mineralization in northern Tarim area—evidence from apatite fission track. *World Nuclear Geosciences*, 26(3): 125—133 (in Chinese with English abstract).
- Liu, Z. J., Wang, J. P., Zheng, D. W., et al., 2010. Exploration prospect and post-ore denudation in the northwestern Jiadong gold province, China: evidence from apatite fission track thermochronology. *Acta Petrologica Sinica*, 26(12): 3597—3611 (in Chinese with English abstract).
- Ma, Q., Shu, L. S., Zhu, W. B., 2006. Mesozoic-Cenozoic burial, uplift and exhumation: a profile along the Urumqi-Korla highway in the Tianshan Mountains. *Xinjiang Geology*, 24(2): 99—104 (in Chinese with English abstract).
- Maksaev, V., Munizaga, F., Zentilli, M., et al., 2009. Fission track thermochronology of Neogene plutons in the Principal Andean Cordillera of central Chile (33—35°S): implications for tectonic evolution and porphyry Cu-Mo mineralization. *Andean Geology*, 36(2): 153—171. doi: 10.5027/andgeoV36n2-a01
- Qin, K. Z., Peng, X. M., San, J. Z., et al., 2003. Types of major ore deposits, division of metallogenic belts in eastern Tian Shan, and discrimination of potential prospects of Cu, Au, mineralization. *Xinjiang Geology*, 21(2): 143—150 (in Chinese with English abstract).
- Qiu, J. X., 1991. Applied magma rocks. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Rui, Z. Y., Liu, Y. L., Wang, L. S., et al., 2002. The eastern Tian Shan porphyry copper belt in Xinjiang and its tectonic framework. *Acta Geologica Sinica*, 76(1): 83—94 (in Chinese with English abstract).
- Shen, C. B., Mei, L. F., Zhang, S. W., et al., 2008. Fission-track dating evidence on space-time difference of Mesozoic-Cenozoic uplift of the Yilianhabiergar Mountain and Bogeda Mountain. *Journal of Mineral and Petrology*, 28(2): 63—70 (in Chinese with English abstract).
- Shu, L. S., Guo, Z. J., Zhu, W. B., et al., 2004. Post-collision tectonism and basin-range evolution in the Tianshan belt. *Geological Journal of China Universities*, 10(3): 394—404 (in Chinese with English abstract).
- Wang, Z. X., Li, T., Zhang, J., et al., 2008. The uplifting process of the Bogda Mountain during the Cenozoic and its tectonic implication. *Science in China (Ser. D)*, 51(2): 1—15. doi: 10.1007/s11430-008-0038-z
- Wang, Y. W., Wang, J. B., Wang, L. J., et al., 2006. A intermediate type of Cu-Ni sulfide and V-Ti magnetite deposit: Xiangshanxi deposit, Hami, Xinjiang, China. *Acta Geologica Sinica*, 80(1): 61—73 (in Chinese with English abstract).
- Wilkinson, B. H., Kesler, S. E., 2007. Tectonism and exhumation in convergent margin orogens: insights from ore deposits. *The Journal of Geology*, 115(6): 611—627. doi: 10.1086/521606
- Yang, F. Q., Mao, J. W., Wang, Y. T., et al., 2007. Major types, characteristics and metallogenesis of gold deposits in Southwest Tianshan Mountains, Xinjiang. *Mineral Deposits*, 26(4): 362—378 (in Chinese with English abstract).
- Yin, A., Nie, S., Craig, P., et al., 1998. Late Cenozoic tectonic evolution of the southern Chinese Tian Shan. *Tectonics*, 17(1): 1—27. doi: 10.1029/97TC03140
- Zhai, Y. S., Deng, J., Peng, Y. M., 2000. Research contents and methods for post-ore changes, modifications and preservation. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 25(4): 340—345 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, D. H., Zhou, S. H., Wan, T. F., et al., 2007. Depth of

- ore deposit formation and prognosis of deep-seated ore deposits. *Geological Bulletin of China*, 26(12): 1509—1518 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, L. C., Wu, N. Y., 1985. Tectonic and evolution of Tian Shan. *Xinjiang Geology*, 3(3): 1—13 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, Z. Y., Zhu, W. B., Shu, L. S., et al., 2008. Thermotectonic evolution of Precambrian blueschists in Aksu, Northwest Xinjiang, China. *Acta Petrologica Sinica*, 24(12): 2849—2856 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, R. F., Cheng, X. H., Wang, Q. M., et al., 2006. New discoveries and prospecting potential in western-southwestern Tianshan metallogenic. *Northwestern Geology*, 39(2): 34—55 (in Chinese with English abstract).
- Zhou, J., 2006. Metallogenic condition and ore-prospecting direction of the Bogeda-Haerlike Cu-mutli metal ore-formation belt in eastern Xinjiang. *Xinjiang Non-ferrous Metals*, 4—5 (in Chinese with English abstract).
- Zhu, W. B., Shu, L. S., Wan, J. L., et al., 2006. Fission-track evidence for the exhumation history of Bogda-Harlik Mountains, Xinjiang, since the Cretaceous. *Acta Geologica Sinica*, 80(1): 16—22 (in Chinese with English abstract).
- Zhu, W. B., Zhang, Z. Y., Shu, L. S., et al., 2007. Uplift and exhumation history of the Precambrian basement, northern Tarim: evidence from apatite fission track data. *Acta Petrologica Sinica*, 23(7): 1671—1682 (in Chinese with English abstract).
- Zhu, X. Y., Wang, J. B., Liu, Z. R., et al., 2010. Geologic characteristics and the genesis of the Wulagen lead-zinc deposit, Xinjiang, China. *Acta Geologica Sinica*, 84(5): 694—702 (in Chinese with English abstract).
- Zhu, Y. F., Wang, T., Xu, X., 2007. Progress of geology study in Xinjiang and its adjacent areas. *Acta Petrologica Sinica*, 23(8): 1785—1794 (in Chinese with English abstract).
- 附中文参考文献**
- 曹金舟, 2009. 准噶尔南缘磷灰石裂变径迹定年及其构造意义. 西北大学学报(自然科学版), 39(4): 649—655.
- 陈衍景, 2000. 中国西北地区中亚型造山—成矿作用的研究意义和进展. 高校地质学报, 6(1): 17—22.
- 陈衍景, 2006. 造山型矿床、成矿模式及找矿潜力. 中国地质, 33(6): 1181—1196.
- 陈正乐, 李丽, 刘健, 等, 2008. 西天山隆升—剥露过程研究. 岩石学报, 24(4): 625—636.
- 戴自希, 2008. 聚焦我国国境线附近(境外)的大型金属矿床. 中国金属通报, 17: 32—34.
- 郭召杰, 张志诚, 廖国辉, 等, 2002. 天山东段隆升过程的裂变径迹年龄证据及其构造意义. 新疆地质, 20(4): 331—334.
- 郭召杰, 张志诚, 吴朝东, 等, 2006. 中、新生代天山隆升过程及其与准噶尔、阿尔泰比较研究. 地质学报, 80(1): 1—15.
- 何国琦, 朱永峰, 2006. 中国新疆及其邻区地质矿产对比研究. 中国地质, 33(3): 451—460.
- 刘德权, 唐延龄, 周汝洪, 等, 2004. 新疆及周边国家、地区超大型矿床成矿特征和远景分析. 华南地质与矿产, (3): 1—12.
- 刘红旭, 董文明, 刘章月, 等, 2009. 塔北中新世代构造演化与砂岩型铀成矿作用关系——来自磷灰石裂变径迹的证据. 世界核地质科学, 26(3): 125—133.
- 柳振江, 王建平, 郑德文, 等, 2010. 胶东西北部金矿剥蚀程度及找矿潜力和方向——来自磷灰石裂变径迹热年代学的证据. 岩石学报, 26(2): 3597—3611.
- 马前, 舒良树, 朱文斌, 2006. 天山乌—库公路剖面中、新生代埋藏、隆升及剥露史研究. 新疆地质, 24(2): 99—104.
- 邱家骧, 1991. 应用岩浆岩石学. 北京: 地质出版社.
- 秦克章, 彭晓明, 三金柱, 等, 2003. 东天山主要矿床类型、成矿区带划分与成矿远景区优选. 新疆地质, 21(2): 143—150.
- 芮宗瑶, 刘玉琳, 王龙生, 等, 2002. 新疆东天山斑岩型铜矿带及其大地构造格局. 地质学报, 76(1): 83—94.
- 沈传波, 梅廉夫, 张士万, 等, 2008. 依连哈比尔尕山和博格达山中新世代隆升的时空分异: 裂变径迹热年代学的证据. 矿物岩石, 28(2): 63—70.
- 舒良树, 郭召杰, 朱文斌, 等, 2004. 天山地区碰撞后构造与盆山演化. 高校地质学报, 10(3): 394—404.
- 王宗秀, 李涛, 张进, 等, 2008. 博格达山链新生代抬升过程及意义. 中国科学 D 辑, 38(3): 1—15.
- 王玉往, 王京彬, 王莉娟, 等, 2006. 岩浆铜镍矿与钽铌磁铁矿的过渡类型——新疆哈密香山西矿床. 地质学报, 80(1): 61—73.
- 新疆维吾尔自治区地质矿产局, 1993. 新疆维吾尔自治区区域地质志. 北京: 地质出版社.
- 杨富全, 毛景文, 王义天, 等, 2007. 新疆西南天山金矿床主要类型、特征及成矿作用. 矿床地质, 26(4): 362—378.
- 翟裕生, 邓军, 彭润民, 2000. 矿床变化与保存的研究内容和研究方法. 地球科学——中国地质大学学报, 25(4): 340—345.
- 张德会, 周圣华, 万天丰, 等, 2007. 矿床形成深度与深部成矿预测. 地质通报, 26(12): 1509—1518.
- 张良臣, 吴乃元, 1985. 天山地质构造及演化史. 新疆地质, 3(3): 1—13.
- 张志勇, 朱文斌, 舒良树, 等, 2008. 新疆阿克苏地区前寒武纪蓝片岩构造—热演化史. 岩石学报, 24(12):

2849—2856.

赵仁夫,程晓红,王庆明,等,2006. 西天山—西南天山成矿带
勘查新发现及找矿远景. 西北地质,39(2):34—55.

周锦,2006. 新疆东部(博格达—哈尔里克)铜—多金属成矿
带成矿条件及找矿方向. 新疆有色金属,4—5.

朱文斌,舒良树,万景林,等,2006. 新疆博格达—哈尔里克山
白垩纪以来剥露历史的裂变径迹证据. 地质学报,80
(1):16—22.

朱文斌,张志勇,舒良树,等,2007. 塔里木北缘前寒武基底隆
升剥露史:来自磷灰石裂变径迹的证据. 岩石学报,23
(7):1671—1682.

朱永峰,王涛,徐新,2007. 新疆及邻区地质与矿产研究进展.
岩石学报,23(8):1785—1794.

祝新友,王京彬,刘增仁,等,2010. 新疆乌拉根铅锌矿床地质
特征与成因. 地质学报,84(5):694—702.

《地球科学——中国地质大学学报》参考文献著录格式

本刊参考文献采用著者—出版年制,即按作者姓氏的首字母顺序排列.中文参考文献必须有对应的英文翻译,文内引用文献必须与文后的参考文献对应.在一条参考文献中若有 3 个以上作者,在文内仅列出一个作者,后面加“et al.”(英文文献)或“等”(中文文献),若有两个作者,在文内必须全部列出,并用“and”(英文文献)或“和”(中文文献)连接;文内同一位置引用多条文献时,按出版年从老到新顺序排列.英文文献中期刊名用斜体表示,姓用全称,名用缩写;如果期刊文献有 doi 号,请放在每条英文文献的最后.从 2013 年起,所有英文文献的文章题目中实词首字母全用大写,虚词首字母全用小写(句首除外).示例如下:

(1)期刊

(文内)……经过几代人几十年对生物地层的潜心研究,建立了该剖面各门类生物组合,如牙形石在界线层和早三叠世自下而上划分了 5 个带(张克信等,1995;Mei *et al.*, 1998;Tong and Yang, 1998),菊石建立了 3 个带,……. 对应的文献:

Mei, S. L., Zhang, K. X., Wardlaw, B. R., 1998. A Refined Succession of Changhsingian and Grriesbachian Neogondolellid Conodonts from the Meishan Section, Candidate of the Global Stratotype Section and Point of the Permian Triassic Boundary. *Palaeogeography, Paleoclimatology, Palaeoecology*, 143:213—226.

Tong, J. N., Yang, Y., 1998. Advance in Study of the Lower Triassic Conodonts at Meishan Section, Zhejiang Province. *Chinese Science Bulletin*, 43 (16):1350—1353.

张克信,赖旭龙,丁梅华,等,1995. 浙江长兴煤山二叠—三叠系界线层牙形石序列及其全球对比. 地球科学——中国地质大学学报,20(6): 669—676.

Zhang, K. X., Lai, X. L., Ding, M. H., et al., 1995. Conodont Sequence and Its Global Correlation of Permian-Triassic Boundary in Meishan Section, Changxing, Zhejiang Province. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 20 (6):669—676 (in Chinese with English abstract).

(文内)……Mo-W 成矿作用主要出现在石英脉和石英细脉中,也出现在岩钟顶部和石英脉周围的云英岩中(Burmistrov *et al.*, 1990),……. 对应的文献:

Burmistrov, A. A., Ivanov, V. N., Frolov, A. A., 1990. Structural and Mineralogical Types of Molybdenum-Tungsten Deposits of Central Kazakhstan. *International Geology Review*, 32(1): 92—99. doi: 10.1080/ 00206819009465758

(2)专著、译著

(文内)……王尚彦和殷鸿福(2001)对贵州省威宁县哲觉剖面早三叠世卡以头组 57 层至 61 层孢粉进行了研究,从剖面上所获得的孢粉数量较少,……. 对应的文献:

王尚彦,殷鸿福,2001. 滇东黔西陆相二叠纪—三叠纪界线地层研究. 武汉:中国地质大学出版社,88.

Wang, S. Y., Yin, H. F., 2001. Study on Terrestrial Permian-Triassic Boundary in Eastern Yunnan and Western Guizhou. China University of Geosciences Press, Wuhan, 88 (in Chinese).

(3)论文集中析出文献

(文内)……图 2 为南迦帕尔巴特西南的巴基斯坦喜马拉雅和南迦帕尔巴特地区的反映变质作用和深熔作用的温度—时间图(Searle, 1996),……. 对应的文献:

Searle, M. P., 1996. Cooling History, Erosion, Exhumation, and Kinematics of the Himalaya Karakoram Tibet Orogenic Belt. In: Yin, A., Harrison, T. M., eds., *The Tectonic Evolution of Asia*. Cambridge Univ. Press, New York, 37—110.