

收稿日期: 2021-05-04
改回日期: 2021-05-21

基金项目: 中国地质调查局基础性公益性地质矿产调查项目: “天山—北山成矿带那拉提—营毛沱地区地质矿产调查”(DD20160009)资助。

doi: 10.12029/gc2021Z108

论文引用格式: 王志华, 王凯, 杨博. 2021. 甘新交界黑山梁幅 1 : 50 000 地质图数据库 [J]. 中国地质, 48(S1): 79-88.

数据集引用格式: 王凯, 王志华, 刘同, 杨博, 郑新如, 叶剑波, 陈保民, 王仁善, 智欢, 姚超, 王凯凯. 2021. 中国地质调查局: 甘新交界黑山梁幅 (K46E015018) 1 : 50 000 地质图数据库 [DB]. 地质科学数据出版系统. DOI:10.35080/data.C.2021.P02; <http://dcc.ngac.org.cn/cn/geologicalData/details/doi/10.35080/data.C.2021.P02>

甘新交界黑山梁幅 1 : 50 000 地质图数据库

王志华^{1,2} 王凯^{1,2*} 杨博^{1,2}

- (1. 中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西 西安 710054;
2. 中国地质调查局造山带地质研究中心, 陕西 西安 710054)

摘要: 甘新交界黑山梁幅 (K46E015018) 1 : 50 000 地质图数据库是在充分收集前人调查研究成果, 吸取中澳合作填图和中加合作填图经验基础上开展区域地质调查工作的结果。调查路线的设计部署以垂直构造线的穿越路线为主、追索路线为辅, 不着重强调路线密度, 以最大限度收集野外第一手资料为目的, 达到精细刻画地质体的目标, 最终形成地质图数据集, 数据量约为 166 MB。本次调查将多种遥感影像资料充分应用到路线地质调查过程中, 在中天山原划前寒武纪地质体中解体并厘定出前寒武纪变质沉积岩、新元古代闪长质片麻岩以及早古生代弧岩浆岩组合, 对其展布范围和时代进行了约束; 详细填绘了中天山南缘构造混杂岩的组成和变形特征; 精细刻画了红柳河一带中天山及其南缘构造带的物质组成和结构构造。图幅的表达尽量实现地质体的展布、属性和演化特征的多层次表达, 达到了客观性与认识性的统一, 实现了构造—岩性实体填图。本数据集的形成成为讨论中亚造山带南缘的构造演化以及东天山和北山的构造衔接关系提供野外地质证据。数据集的形成过程和表达形式对于后续地质调查工作具有参考和借鉴意义。

关键词: 东天山; 北山; 区域地质调查; 黑山梁幅; K46E015018; 1 : 50 000 地质图; 数据集; 甘新交界

数据服务系统网址: <http://dcc.ngac.org.cn/>

1 引言

中亚造山带位于东欧克拉通、西伯利亚克拉通和卡拉库姆克拉通、塔里木克拉通、华北克拉通之间 (图 1a), 也被称为阿尔泰型拼贴体或古亚洲洋构造域, 是显生宙以来规模最大、演化时间最长的增生造山带之一 (Şengör AMC et al., 1993; Khain EV et al., 2002; Windley Brian F et al., 2007; Xiao Wenjiao et al., 2015)。

第一作者简介: 王志华, 男, 1988 年生, 博士研究生, 助理研究员, 主要从事区域地质调查和成矿规律研究; E-mail: wzhh.163@163.com。

通讯作者简介: 王凯, 男, 1986 年生, 博士研究生, 高级工程师, 主要从事区域地质调查、构造变形解析; E-mail: wangk@mail.cgs.gov.cn。

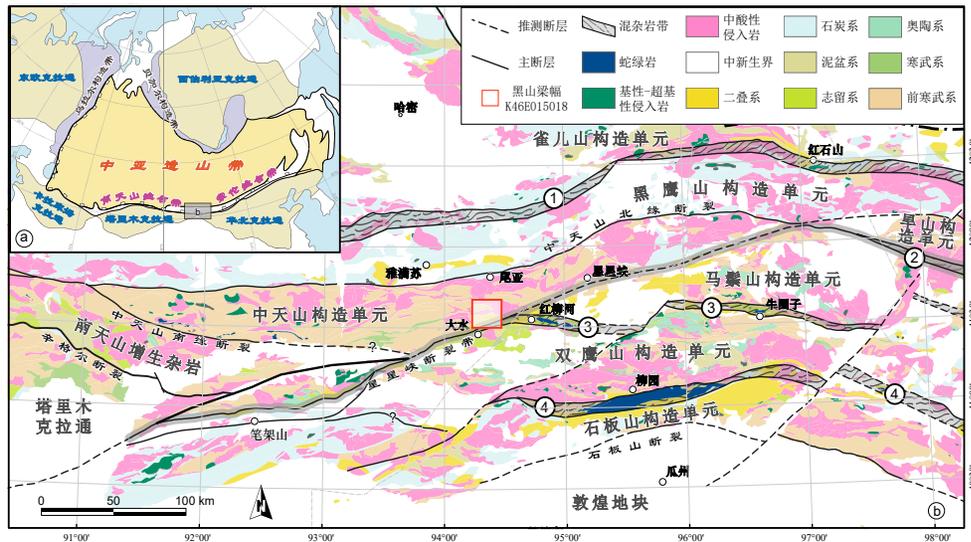


图1 a—中亚造山带大地构造位置简图(改自 Xiao Wenjiao et al., 2015); b—北山造山带及邻区构造纲要图(王洪亮, 2007; Xiao Wenjiao et al., 2010b)

1—康古尔—红石山蛇绿混杂岩带; 2—石板井—小黄山蛇绿混杂岩带; 3—红柳河—牛圈子蛇绿混杂岩带; 4—柳园蛇绿混杂岩带

前人的研究表明, 中亚造山带南缘与华北克拉通和塔里木克拉通的拼贴过程存在东段沿索伦缝合带闭合, 西段沿南天山缝合带闭合, 而且东西段的演化时限和过程具有明显差异 (Xiao Wenjiao et al., 2003; Li Jinyi, 2006; Xiao Wenjiao et al., 2010a; Luo Zhiwen et al., 2016; Eizenhöfer Paul R et al., 2018; Zhao Guochun et al., 2018; Xu Wei et al., 2019; 许文良等, 2019)。北山造山带位于中亚造山带南缘中段, 保存着元古代以来的构造演化记录 (姜洪颖等, 2013; He Zhenyu et al., 2014, 2018; 贺振宇等, 2015; Yuan Yu et al., 2019), 尤其在古生代期间经历了多重复合增生造山与成矿作用的改造 (何世平等, 2002; Yakubchuk Alexander, 2004; 杨合群等, 2009; 杨建国等, 2012; Yu Jiyuan et al., 2016; 秦克章等, 2017; Gao Jun et al., 2018; Xu Wei et al., 2019), 是认识中亚造山带南缘东西衔接的关键窗口。

北山造山带构造位置处于天山造山带的“东延”。根据蛇绿混杂岩的出露位置, 以石板井—小黄山蛇绿混杂岩带及东北向星星峡断裂为界, 以南为北山造山带, 以北为天山造山带 (图 1b) (左国朝和李茂松, 1996; Xiao Wenjiao et al., 2010b; 杨合群等, 2010)。前人聚焦于东天山—北山造山带内部发育的蛇绿混杂岩带的物质组成、演化过程及时限已有大量成果认识, 并对北山造山带及邻区的构造变形特征对构造演化过程进行了约束。但关于天山造山带和北山造山带东西衔接关系、相互作用过程及其联系的研究相对较少。对天山造山带和北山造山带结构差异及其形成机制和动力学背景的认识, 也存在不同认识 (Zhou Da et al., 1996; Wang Yu et al., 2010; Xiao Wenjiao et al., 2010b)。近年来, 东天山—北山一带的地质找矿工作成果显示东天山和北山的成矿特征具有明显差异 (杨建国等, 2012)。因此, 厘定或约束东天山与北山的构造属性及相互关系, 对于认识中亚造山带南缘演化过程及天山—北山一带的地质找矿工作, 均具有重要意义。

中国地质调查局西安地质调查中心于 2016—2018 年选择纵跨北天山南缘、中天山和北山双鹰山构造单元的尾亚—方山口一带开展包括黑山梁幅 (K46E015018) 地质图数

据集(表1)在内的1:50 000区域地质调查工作,旨在通过地表地质调查,查明图幅内构造单元的物质组成、结构构造和变质变形特征,为约束东天山和北山的构造衔接关系提供野外地质证据。

表1 数据库(集)元数据简介

条目	描述
数据库(集)名称	甘新交界黑山梁幅(K46E015018)1:50 000地质图数据库
数据库(集)作者	王凯,中国地质调查局西安地质调查中心 王志华,中国地质调查局西安地质调查中心 刘同,山东省地质矿产勘查开发局第七地质大队 杨博,中国地质调查局西安地质调查中心 郑新如,中国地质调查局西安地质调查中心 叶剑波,中国地质调查局西安地质调查中心 陈保民,山东省地质矿产勘查开发局第七地质大队 王仁善,山东省地质矿产勘查开发局第七地质大队 智欢,山东省地质矿产勘查开发局第七地质大队 姚超,山东省地质矿产勘查开发局第七地质大队 王凯凯,山东省地质矿产勘查开发局第七地质大队
数据时间范围	2016—2018年
地理区域	东经94°15′~94°30′;北纬41°30′~41°40′
数据格式	MapGIS, JPG, PDF, CorelDraw, Illustrator
数据量	166 MB
数据服务系统网址	http://dcc.ngac.org.cn
基金项目	中国地质调查局基础性公益性地质矿产调查项目:“天山—北山成矿带那拉提—营毛沱地区地质矿产调查”(DD20160009)
语种	中文
数据库(集)组成	1:50 000地质图库、角图和整饰。地质图库包括沉积岩、变质岩、侵入岩、火山岩、混杂岩(带)、岩脉、构造、地质界线、蚀变信息、产状、同位素地质年龄取样点及测年结果数据、图切剖面位置、岩性花纹、各类地质体代号等;角图包括第四纪地层成因地貌划分、综合地层柱状图、侵入岩单位划分表、图例、测区大地构造位置示意图、图幅构造纲要图和图切地质剖面图;整饰部分包括接图表、中国地质调查局局徽、图名、比例尺、责任栏、引用格式等

2 数据采集和处理方法

本次区域地质调查以《区域地质调查总则(1:50 000)》(DZ/T 0001—1991)、《1:50 000区域地质调查技术要求》(DD 2019—01)等规范为基准,参考《现代填图方法指南》(未出版)、借鉴中澳合作填图和中加合作填图的工作经验,注重不同来源遥感影像数据的应用,在调查过程中不平均分配野外路线调查工作量,最终以突出地质实体表达为目的,完成各类基础数据采集。

2.1 遥感影像处理

遥感数据的普及以及在地质调查过程中的广泛应用,为提高区域地质调查的质量和一线地质人员的野外工作效率起到很大的作用。因此遥感地质解译是本项目工作中所采用的重要手段之一。

本次调查收集了WorldView-2和美国陆地卫星Landsat 8两种不同的遥感影像数据。其中WorldView-2可提供分辨率为0.5 m的全色图像和分辨率为2 m的多光谱图

像,具有高分辨率的特征,有助于小尺度地质体的精细识别和解译;Landsat 8 可提供分辨率为 15 m 的全色图像和分辨率为 30 m 的多光谱图像。多光谱数据中 7、4、2 波段组合的影像色调可以较好地反映填图尺度岩石组合特征的变化,尤其是在西北戈壁荒漠区应用效果明显。结合两种遥感影像特征的优点,本次工作在前期处理过程中选择 Landsat 8 数据中全色波段和多光谱数据中 7、4、2 波段进行数据融合,获得数据容量适中、兼具高空间分辨率的特征和较好反映岩性特征的彩色、纹理的影像作为基础影像图件,用于区域地质界线解译和野外路线地质调查的底图(图 2);选择 WorldView-2 数据中的全色波段与多光谱的 5(Red)、3(Green)、2(Blue) 波段进行数据融合,获得数据容量较大、分辨率为 0.5 m 的真彩色图像作为参考影像图件,用于构造复杂区的地质解译和关键地区小范围、大比例尺填图的地质底图。本次影像数据融合采用 ENVI 5.2 软件中 NNDiffuse Pan Sharpening 融合算法进行处理。

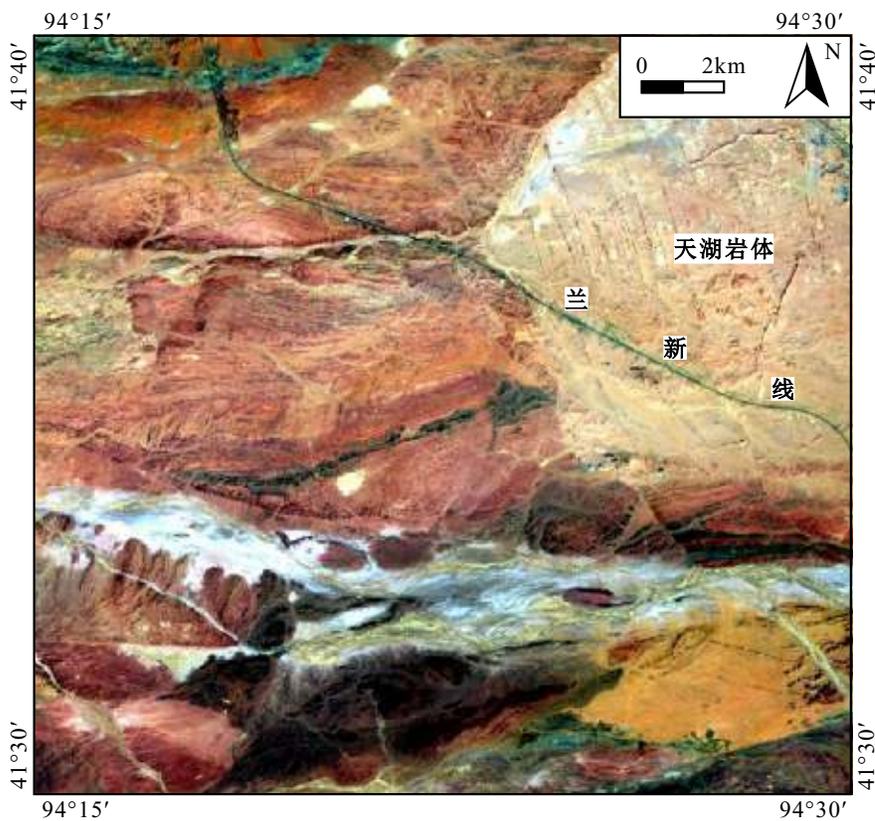


图 2 黑山梁幅(K46E015018) Landsat 8 数据全色波段和 7、4、2 波段融合结果

基于 Landsat 8 遥感影像数据融合的结果(图 2)中可以清晰识别出东西向贯穿图幅中南部的红柳河河道,河道以北的影像特征主要表现为粉红色调的地质体为中天山构造单元的组成物质。根据影像纹理的展布特征,可以初步判断构造线为 NEE-SWW 走向;颜色深浅不同的影像纹理代表不同岩性的地质体,同时地质体展布方向近平行区域构造线;东部直径约 10 km 并“切”过区域构造面理的地质体为晚期岩体,可以看出岩体内部发育多组 NNW-SSE 走向的岩脉或脆性断层。根据影像特征所反映地质体发生“错断”或不连续,可能代表晚期脆性断层改造的特征,主要表现为 NW-SE 走向的右行走滑断层和 NE-SW 走向的左行走滑断层。中天山北缘青蓝色调地质体可能为前人划分的蓟县系卡瓦布拉克群。在图幅内红柳河东段北侧可见影像纹理清晰的地质体发生紧闭褶皱构造,并受到后期脆性断层的改造,根据影像色调的不同可以划分出 2~3 种岩

性不同的地质体。其中具体岩石组合和褶皱的形态还需要野外进一步验证。红柳河以南地质体的影像特征差异明显,西部为粉红色调影纹特征,指示其物质组成与中天山构造单元类似;中部为暗紫色调,且可以识别出受构造作用影响地质体呈透镜状产出;东部为黄色调,可能出露为岩浆岩。

通过遥感影像的处理和解译,大体可以反映图幅内不同构造单元的地质体展布特征和区域变形样式,为路线地质调查提供更直观的参考依据。

2.2 野外路线地质调查和信息采集

在前期地质体解译基础上,组织所有填图技术人员集体进行南北向贯穿调查区的踏勘路线地质调查,目的是总体把握调查区内的基本构造格架、主要地质体的物质组成、结构构造和变质变形特征,尽可能统一认识。在路线调查和数据采集过程中,工作组不着重强调路线密度,以最大限度收集野外第一手资料为目的,采用垂直穿越构造线的路线设计思路为主,分组协同进行调查。

针对遥感图像上解译清晰的地质体,侧重调查其岩石组合、产状及其与两侧地质体的接触关系为主。对遥感图像特征不够清晰、变质变形复杂或影像精度不足以解译的地质体或区域,采用追索路线的调查方式,以求达到精细刻画地质体的目的。此外,在野外实际调查过程中,填图小组可根据实际需要,在保证不遗漏地质体的情况下随时调整调查路线。

填图小组在野外地质路线调查过程中统一使用数字地质调查系统(DGSS)实现数据实时采集,主要采集路线通过的地质体的岩石组合、产状、变质变形特征、岩性(相)变化特征以及相邻地质体之间的界线、接触关系等信息。对地质点、地质界线和分段路线等分类进行简明扼要地记录。对于重要地质现象,如接触关系的证据、构造变形样式等进行必要的素描和照相记录,同时采集必要的实物标本和测试样品。

2.3 室内资料整理

室内资料整理主要包括完善野外记录、素描以及照片说明,绘制实测剖面图。根据路线调查和实测地质剖面所采集的信息,完成实际材料图,并进一步编制地质草图。在编制地质图的过程中尽可能以岩性或不同岩石组合将岩石地层划分为岩性段作为最小填图单元;用不同颜色或花纹代表不同岩性段的不同建造特征;用不同的线型代表不同类型的地质界线和不同属性的断层;岩脉则用不同颜色的线和点表示,以区分与地质界线或断层的不同,尽可能详细表达地质体的展布特征。其中图例和配色分别主要参考《区域地质图图例》(GB/T 958—2015)和《地质图用色标准及用色原则(1:50 000)》(DZ/T 0179—1997)。岩脉表达方面借鉴中澳合作填图的表达方式,成图思路方面借鉴了中加合作填图的经验。

3 数据样本描述

3.1 数据来源及命名方式

项目数据库的原始数据均来自野外路线实际测量及室内试验分析,如点位坐标、岩性、产状、界线及产状、样品及年龄数据等。将不同的数据元素归结为点、线、面(区)3种文件类型,点实体包括各类地质体符号,地质花纹、样品点,产状及标注;线实体包括地质界线、断裂构造、剖面线、岩脉等;面实体包括沉积岩、侵入岩、变质岩、混杂岩、第四系等实体。分别用*.wp格式文件来命名地质体;用*.wl格式文件来命

名地质线；用*.wt 格式文件来命名地质点。

3.2 基本要素数据库

主图内容包括沉积岩、侵入岩、火山岩、变质岩、混杂岩、第四系、构造、地质界线、产状、同位素地质年龄取样点及测年年齡等。角图内容包括接图表、大地构造位置示意图、构造纲要图、地质剖面、图切剖面、地层综合柱状图、图例、图签等。

3.3 数据属性

黑山梁幅 1:50 000 区域地质图数据库包含地质实体要素信息、地理要素信息和地质图整饰要素信息。地质实体要素信息属性按照 1:50 000 区域地质调查填图数据库建库要求分 4 类岩石(沉积岩、火山岩、侵入岩、变质岩)、混杂岩(带)、断裂构造、产状要素等分别建立数据库属性；地理要素信息沿用国家测绘地理信息局收集数据的属性结构；地质图整饰要素信息按照《1:50 000 区域地质调查技术要求》(DD 2019-01)附录 B 地质图图式整理。沉积岩属性主要有：年代地层单位、岩石地层单位、地层代码、厚度、岩性名称等。火山岩数据库属性主要有：年代地层单位、岩石地层单位、岩性名称、岩性代号等。侵入岩数据库属性主要有：年代地层单位、岩性名称、岩性代号，同位素年龄等。变质岩数据库属性主要有：年代地层单位、岩石地层单位、岩性名称、岩性代号等。混杂岩带数据库主要属性有：岩石地层单位、岩性名称、岩性代号等。断裂构造数据属性主要有：断裂 ID、断裂类型、断裂走向、断裂面倾向、断裂面倾角等。产状数据属性有：产状类型、倾向、倾角。图层内容主要包括四大类：基本要素类、综合要素类、对象类和独立要素类(表 2)。其中独立要素主要以角图形式表达，主要包括地层综合柱状图、图切剖面、大地构造位置示意图、构造纲要图、接图表、图签和图例等。

表 2 黑山梁幅(K45E015018)成果数据库基本要素类、综合要素类、对象类、独立要素类数据表

数据集	实体名称	文件名	数据类型
基本要素类	地质面实体	_geopolygon.wp	Area
	地质(界)线	_geoline.wl	Line
	产状	_attitude.wt	Point
	同位素年龄数值	a_isotope.wt	Point
综合要素类	标准内图框(内图框)	_map_frame.wt/wl	Point/Line
对象类	沉积(火山)岩岩石地层单位	_strata	Access
	侵入岩岩石年代	_intru_litho_chrono	Access
	变质岩地(岩)层单位	_metamorphic	Access
	断层	_fault	Access
	图幅基本信息	_sheet_mapinf	Access
独立要素类	综合柱状图	column_sec.wp/wt/wl	Area/Point/Line
	图切剖面	cutting_profile.wp/wt/wl	Area/Point/Line
	大地构造位置示意图	_tectonic_location.wt/wl	Point/Line
	构造纲要图	structural_outline_map.wp/wt/wl	Area/Point/Line
	接图表	map_sheet.wt/wl	Point/Line
	图签	duty_table.wt	Point
	图例	lengend.wt/wl	Point/Line

4 数据质量控制和评估

本次工作按照中国地质调查局西安地质调查中心统一安排开展工作方案设计、野外调查、样品采集、分析测试等工作。工作中依据《区域地质调查总则(1:50 000)》(DZ/T 0001-1991)、《1:50 000 区域地质调查技术要求》(DD 2019-01)等规范和技术要求,严格执行国家和行业相关标准和规范,精度满足区域地质调查工作的规范要求。

项目组采取实测填图方法,工作开展前按要求定义数据库的投影参数和比例尺精度,统一精确调试填图终端定位参数以保证空间定位准确,确保地质点在野外手图上所标定的点位与实地位置误差不大于20 m。调查路线部署按照规范要求,地质点采集充分控制各重要地质实体及其界线。图面表达精确到岩性,宽度达50 m以上或者特殊地质体、标志层均有所表达或者夸大表达。

此外,项目实施过程中按照《中国地质调查局地质调查项目管理办法(试行)》的要求,严格执行自检、互检、项目检“三级质量检查制度”,实现填图小组自检、互检率100%,项目组抽检率大于30%,单位抽检率大于10%。中国地质调查局西安地质调查中心分别在2018年9月中旬和2019年9月中旬组织专家对本项目完成了野外验收和成果验收,野外验收包括室内评审、野外检查两部分,最终评审结果均为优秀,数据库顺利通过验收。以上措施和方法保证了本数据库的数据质量符合相关规范的要求。

5 数据价值

5.1 图幅内变质表壳岩的岩石组合和时代的重新厘定

将图幅内变质表壳岩根据岩性组合不同划分为片麻岩段、片岩段和大理岩段3个岩性段;对片岩段黑云石英片岩中碎屑锆石进行了U-Pb同位素年代学分析,获得1660~1847 Ma的年龄主峰值和1361~1473 Ma的次级峰值。胡霁琴等(1986)报道星星峡群的时代上限为(1400±73) Ma、下限约1900 Ma;随后被《新疆维吾尔自治区岩石地层》(1999)引用并作为划分长城纪星星峡群的依据。

本次获得的碎屑锆石年龄范围虽然并未落入《中国地层表》(2014)中给出的长城系地质年龄范围(章森桂等,2015),但与星星峡群正型剖面中的获得年龄范围一致(胡霁琴等,1986;新疆维吾尔自治区地质矿产局,1999),为了方便区域地层对比,图中将该套变质表壳岩划分为长城系,而图区内该套地层出露无序且出露较差,本次工作将其划分为星星峡岩群(ChX)。

5.2 图幅内变质侵入体的出露范围和时代的重新厘定

本次调查在中天山南缘新厘定出一套侵入到长城纪星星峡岩群中的闪长质片麻岩,在接触带附近表现为混合岩化。对该套闪长质片麻岩进行锆石U-Pb同位素年代学分析,获得753 Ma的结晶年龄和约400 Ma的变质年龄。

5.3 中天山南缘构造混杂岩带的厘定

在中天山南缘原划二叠纪地层中解体并重新厘定出古生代蛇绿构造混杂岩。其中二叠纪地层为一套碎屑岩,受构造作用影响,呈同斜紧闭褶皱产出;蛇绿构造混杂岩根据岩石组成不同,进一步划分为蛇绿岩组合和上覆岩系组合。蛇绿岩组合主要包括辉长辉绿岩、枕状玄武岩、斑状玄武岩和凝灰岩等。地球化学分析显示:枕状玄武岩和辉长辉绿岩具有E-MORB特征,斑状玄武岩具有N-MORB特征;上覆岩系组合主要包括绿泥

绢云千枚岩、长英质糜棱岩和糜棱岩化石英片岩等。蛇绿岩以大小不等的透镜体产出，构成混杂岩中的岩块。透镜状岩块的不对称性指示左行走滑的变形特征；千枚岩、片岩等发育紧闭褶皱或密集劈理，劈理面“包绕”岩块，呈现为典型的“岩块和基质(Block-in-Matrix)”构造特征。

5.4 中天山早古生代岩浆弧的厘定

在原古元古代地层中解体出早古生代岩浆岩岩石组合，分别为中奥陶世片麻状闪长岩(462 Ma)和中细粒石英闪长岩(460 Ma)、晚奥陶世中细粒二长花岗岩(450 Ma)、中志留世弱片麻状石英闪长岩和弱片麻状二长花岗岩(430 Ma)。岩石地球化学分析显示：中—晚奥陶世岩浆岩组合具有弧岩浆的特征，中志留世弱片麻状二长花岗岩具有A型花岗岩的特征。中天山构造单元内部发育的变质变形面理总体指示运动学向南的变形特征。

6 结论

通过对黑山梁幅(K46E015018)开展1:50 000地质填图，在尽可能客观、美观地表达地质体物质组成、结构构造、变质变形以及平面展布特征的基础上，本次调查工作取得以下主要认识：

(1) 实现了构造-岩性实体填图，精细刻画了红柳河一带中天山及其南缘构造带的组成结构。以岩性和岩石组合为单位厘定划分出32个地层填图单元和18个岩浆岩填图单元；对早古生代构造混杂岩的组成和变形特征进行详细填绘；角图中增加大地构造位置图、构造纲要图等，形成构造单元、构造相和岩石组合等不同层次地质体的展布、属性和演化特征的多层次表达，达到了客观性与认识性的统一。

(2) 识别出新元古代、早古生代两期中酸性侵入岩浆事件，丰富了中天山的构造-热事件序列，分析得出其与北山构造带具有更多的亲缘性。在红柳河构造混杂岩带中识别出强烈变形的俯冲增生杂岩、未变形玄武岩岩块以及上叠的二叠系沉积岩系，为理解中天山南缘构造带的属性和演化过程提供了依据。

(3) 将多种影像资料结合应用，形成了一套将遥感影像资料解译和路线地质调查验证充分结合的方法，实现了地质体准确、快速填绘，为完善东天山地区地质填图技术方法提供了支撑。

致谢：胡鹏伟协助完成遥感影像的前期处理工作；郑新如、李建刚、辛浩、张晓星、邢慧强、王昱龙等参与了部分野外调查及数据采集工作；审稿专家的宝贵意见以及编辑部老师的细致工作使得本文得以顺利刊印，在此一并表示衷心的感谢！

参考文献

- Eizenhöfer Paul R, Zhao Guochun. 2018. Solonker Suture in East Asia and its bearing on the final closure of the eastern segment of the Palaeo-Asian Ocean[J]. *Earth-Science Reviews*, 186: 153-172.
- Gao Jun, Klemd Reiner, Zhu Mingtian, Wang Xinshui, Li Jilei, Wan Bo, Xiao Wenjiao, Zeng Qingdong, Shen Ping, Sun Jinggui, Qin Kezhang, Campos Eduardo. 2018. Large-scale porphyry-type mineralization in the Central Asian metallogenic domain: A review[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 165: 7-36.
- He Zhenyu, Klemd Reiner, Yan Lili, Zhang Zeming. 2018. The origin and crustal evolution of

- microcontinents in the Beishan orogen of the southern Central Asian Orogenic Belt[J]. *Earth-Science Reviews*, 185: 1–14.
- He Zhenyu, Zhang Zeming, Zong Keqing, Xiang Hua, Klemd Reiner. 2014. Metamorphic P–T–t evolution of mafic HP granulites in the northeastern segment of the Tarim Craton (Dunhuang block): Evidence for early Paleozoic continental subduction[J]. *Lithos*, 196–197: 1–13.
- Khain E V, Bibikova E V, Kröner A, Zhuravlev D Z, Sklyarov E V, Fedotova A A, Kravchenko–Berezhnoy I R. 2002. The most ancient ophiolite of the Central Asian fold belt: U–Pb and Pb–Pb zircon ages for the Dunzhugur Complex, Eastern Sayan, Siberia, and geodynamic implications[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 199(3–4): 311–325.
- Li Jinyi. 2006. Permian geodynamic setting of Northeast China and adjacent regions: closure of the Paleo–Asian Ocean and subduction of the Paleo–Pacific Plate[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 26(3–4): 207–224.
- Luo Zhiwen, Xu Bei, Shi Guanzhong, Zhao Pan, Faure M, Chen Yan. 2016. Solonker ophiolite in Inner Mongolia, China: A late Permian continental margin–type ophiolite[J]. *Lithos*, 261: 72–91.
- Şengör A M C, Natal'in B A, Burtman V S. 1993. Evolution of the Altaid tectonic collage and Palaeozoic crustal growth in Eurasia[J]. *Nature*, 364: 22.
- Wang Yu, Sun Guihua, Li Jinyi. 2010. U–Pb (SHRIMP) and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronological constraints on the evolution of the Xingxingxia shear zone, NW China: A Triassic segment of the Altyn Tagh fault system[J]. *Geological Society of America Bulletin*, 122(3–4): 487–505.
- Windley Brian F, Alexeev Dmitriy, Xiao Wenjiao, Kröner Alfred, Badarch Gombosuren. 2007. Tectonic models for accretion of the Central Asian Orogenic Belt[J]. *Journal of the Geological Society*, 164(1): 31–47.
- Xiao Wenjiao, Huang Baochun, Han Chunming, Sun Shu, Li Jiliang. 2010a. A review of the western part of the Altai: A key to understanding the architecture of accretionary orogens[J]. *Gondwana Research*, 18(2–3): 253–273.
- Xiao Wenjiao, Mao Qigui, Windley Brian F, Han Chunming, Qu Junfeng, Zhang Ji'en, Ao Songjian, Guo Qianqian, Cleven Nathan R, Lin Shoufa, Shan Yehua, Li Jiliang. 2010b. Paleozoic multiple accretionary and collisional processes of the Beishan orogenic collage[J]. *American Journal of Science*, 310(10): 1553–1594.
- Xiao Wenjiao, Windley Brian F, Hao Jiejing, Zhai Mingguo. 2003. Accretion leading to collision and the Permian Solonker suture, Inner Mongolia, China: Termination of the central Asian orogenic belt[J]. *Tectonics*, 22(6): 1069–1088.
- Xiao Wenjiao, Windley Brian F, Sun Shu, Li Jiliang, Huang Baochun, Han Chunming, Yuan Chao, Sun Min, Chen Hanlin. 2015. A tale of amalgamation of three Permo–Triassic Collage Systems in Central Asia: oroclinal sutures, and terminal accretion[J]. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 43(1): 477–507.
- Xu Wei, Sun Zhiming, Shi G R, Lu Jingcai, Yu Long, Niu Yazhuo, Zhao Yue, Han Xiaofeng, Wang Baowen, Song Bo, Cao Yong. 2019. First report of coupled Early Permian paleomagnetic and geochronologic data from the Dunhuang block (NW China), and implications for the tectonic

- evolution of the Paleo-Asian ocean[J]. *Gondwana Research*, 67: 46–63.
- Yakubchuk Alexander. 2004. Architecture and mineral deposit settings of the Altai orogenic collage: a revised model[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 23(5): 761–779.
- Yu Jiyuan, Guo Lin, Li Jianxing, Li Yanguang, Smithies Robert H, Wingate Michael T D, Meng Yong, Chen Shefa. 2016. The petrogenesis of sodic granites in the Niujuanzi area and constraints on the Paleozoic tectonic evolution of the Beishan region, NW China[J]. *Lithos*, 256-257: 250–268.
- Yuan Yu, Zong Keqing, Cawood Peter A, Cheng Huai, Yu Yuanyang, Guo Jingliang, Liu Yongsheng, Hu Zhaochu, Zhang Wen, Li Ming. 2019. Implication of Mesoproterozoic (~ 1.4 Ga) magmatism within microcontinents along the southern Central Asian Orogenic Belt[J]. *Precambrian Research*, 327: 314–326.
- Zhao Guochun, Wang Yuejun, Huang Baochun, Dong Yunpeng, Li Sanzhong, Zhang Guowei, Yu Shan. 2018. Geological reconstructions of the East Asian blocks: From the breakup of Rodinia to the assembly of Pangea[J]. *Earth-Science Reviews*, 186: 262–286.
- Zhou Da, Graham Stephan A. 1996. Extrusion of the Altyn Tagh wedge: A kinematic model for the Altyn Tagh fault and palinspastic reconstruction of northern China[J]. *Geology*, 24(5): 427–430.
- 何世平, 任秉琛, 姚文光, 付力浦. 2002. 甘肃内蒙古北山地区构造单元划分 [J]. *西北地质*, 35(4): 30–40.
- 贺振宇, 孙立新, 毛玲娟, 宗克清, 张泽明. 2015. 北山造山带南部片麻岩和花岗闪长岩的锆石 U-Pb 定年和 Hf 同位素: 中元古代的岩浆作用与地壳生长 [J]. *科学通报*, 60(4): 389–399.
- 胡霁琴, 章振根, 刘菊英, 彭建华, 张积斌, 赵殿甲, 杨昇祖, 周位. 1986. 天山东段中天山隆起带前寒武纪变质岩系时代及演化——据 U-Pb 年代学研究 [J]. *地球化学*, (1): 23–35.
- 姜洪颖, 贺振宇, 宗克清, 张泽明, 赵志丹. 2013. 北山造山带南缘北山杂岩的锆石 U-Pb 定年和 Hf 同位素研究 [J]. *岩石学报*, 29(11): 3949–3967.
- 秦克章, 翟明国, 李光明, 赵俊兴, 曾庆栋, 高俊, 肖文交, 李继亮, 孙枢. 2017. 中国陆壳演化、多块体拼合造山与特色成矿的关系 [J]. *岩石学报*, 33(2): 305–325.
- 王洪亮. 2007. 中国天山及邻区地质图 [M]. 北京: 地质出版社.
- 新疆维吾尔自治区地质矿产局. 1999. 新疆维吾尔自治区岩石地层 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1–308.
- 许文良, 孙晨阳, 唐杰, 栾金鹏, 王枫. 2019. 兴蒙造山带的基底属性与构造演化过程 [J]. *地球科学*, 44(5): 1620–1646.
- 杨合群, 李英, 赵国斌, 李文渊, 王小红, 姜寒冰, 谭文娟, 孙南一. 2010. 北山蛇绿岩特征及构造属性 [J]. *西北地质*, 43(01): 26–36.
- 杨合群, 李英, 赵国斌, 王永和, 杨建国, 李文明, 姜寒冰, 谭文娟, 张开春. 2009. 新疆-甘肃-内蒙古衔接区地层对比及其意义 [J]. *西北地质*, 42(4): 60–75.
- 杨建国, 谢春林, 王小红, 谢燮, 王磊, 王静平. 2012. 甘肃北山地区基本构造格局和成矿系列特征 [J]. *地质通报*, 31(z1): 422–438.
- 章森桂, 张允白, 严惠君. 2015. 《中国地层表》(2014) 正式使用 [J]. *地层学杂志*, 39(4): 359–366.
- 左国朝, 李茂松. 1996. 内蒙古北山地区早古生代岩石圈形成与演化 [M]. 兰州: 甘肃科技出版社, 1–120.