收稿日期: 2021-05-03 改回日期: 2021-05-20

基金项目:中国地质调查局地 质调查项目:(DD20160042、 DD2019003)和国家自然科学 青年基金项目:(41902196) 资助。

#### doi: 10.12029/gc2021Z107

论文引用格式:张家辉,王惠初,相振群,杨济远,田辉,任云伟,康辰凯. 2021. 晋冀交界怀安镇幅 1:50 000 地质 图数据库 [J].中国地质,48(S1):69-78.

数据集引用格式: 张家辉,田辉,施建荣,常青松,张阔,钟焱,初航,张庆礼,赵锡霖,沈金胜. 2021. 中国地质调查 局:晋冀交界怀安镇幅(K50E022002)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.P08; http://dcc.ngac.org.cn/cn//geologicalData/details/doi/10.35080/data.C.2021.P08

# 晋冀交界怀安镇幅 1:50 000 地质图数据库

张家辉<sup>1,2</sup> 王惠初<sup>1,2</sup> 相振群<sup>1,2</sup> 杨济远<sup>3</sup> 田辉<sup>1,2</sup> 任云伟<sup>1,2</sup> 康辰凯<sup>3</sup>

(1. 中国地质调查局天津地质调查中心,天津 300170; 2. 中国地质调查局前寒武纪地质研究中心,天津 300170; 3. 河北省区域地质调查院,河北廊坊 065000)

摘要:怀安镇幅(K50E022002)位于晋冀交界地区的恒山-桑干高压麻粒岩带内,属华北 克拉通典型的早前寒武纪高级变质岩区。怀安镇幅1:50000地质图数据库是按照中国 地质调查局新颁布的《1:50000区域地质调查技术要求》(DD 2019-01)和行业其他统 一标准及要求,采用现代变质岩区填图技术方法和数字填图系统编制完成。通过区域地 质调查对测区新太古代变质深成岩体进行了详细解体,划分出5个不同构造层次的变质 深成岩体填图单元;新厘定出新太古界桑干岩群和古元古界集宁岩群2期不同时代、不 同性质的变质表壳岩单元,为晋冀蒙交界地区早前寒武纪变质地层单元的划分与对比提 供了新的依据;系统总结出古元古代3期变质事件,重塑了古元古代造山构造演化过 程。该图幅采用特殊线段直观地表达了古老造山带深部地壳岩石塑性流变构造变形样 式,丰富了图面表达形式;建立了高级变质岩区变质深成岩和变质表壳岩的识别标志。 该数据库为 MapGIS 格式,数据内容包括1:50000地质图和图饰部分,并包含11个错 石 U-Pb 年龄数据,数据量为137 MB。本地质图数据库充分反映了晋冀交界地区最新 的区域地质调查成果,为后续地质矿产调查和科学研究提供了基础地质图库。 关键词:怀安镇幅;1:50000;K50E022002;地质图;华北克拉通;变质岩区填图 数据服务系统网址:http://dcc.ngac.org.cn/

# 1 引言

华北克拉通是我国最古老的克拉通,保存有 38 亿年以来的地质演化历史,其中最显著的是新太古代 (2.7 Ga 和 2.5 Ga) 大规模陆壳生长 (耿元生等,2010;王惠初等,2011;万渝生等,2017) 和古元古代不同陆块间碰撞造山 (Zhao Guochun et al., 2005) 两期构造事件,前者奠定了华北克拉通古老基底的演化基础,后者形成了全球公认的哥伦比亚超大陆,并最终完成了克拉通化 (翟明国,2011)。

第一作者简介:张家辉,男,1986年生,助理研究员,从事早前寒武纪地质和区域地质调查研究; E-mail: zhangjiahuijd@163.com。

晋冀蒙交界地区是华北克拉通中典型的早前寒武纪高角闪相--麻粒岩相高级变质 区,区内以新太古代一古元古代变质基底为主,存在新太古代花岗--绿岩组合、古元古 代孔兹岩系和高压基性麻粒岩等特征岩石类型,是研究早期地壳形成演化和古板块构造 的重要窗口 (图 1)。区域地质调查工作可为这些研究工作提供详细的基础资料。早期的 地质调查工作将晋冀蒙交界地区变质基底笼统地称为桑干片麻岩或桑干杂岩,随后在 20 世纪 70 年代初开展的 1:200 000 区域地质调查<sup>④</sup> 工作中,把大部分强烈变质--变形 的具有"层状构造"的变质深成岩当作变质地层处理,划归为桑干群,形成时代为太古 代。20 世纪 80-90 年代,随着变质岩区填图工作方法的进步,1:50 000 区域地质调查<sup>●</sup> 在原确定为变质地层的高级变质岩区识别出大量变形的英云闪长质--奥长花岗质--花岗闪 长质片麻岩 (TTG) 岩系,称为葛胡窑片麻岩,由此建立起以太古代 TTG 片麻岩或灰色 片麻岩杂岩为主体的地质格架。但限于当时地质认识,在填图工作中也存在泛 TTG 化,未详细区分不同岩类的变质深成岩体。最近 20 年来,在晋冀蒙交界地区开展 了一系列 1:250 000<sup>④</sup>和 1:50 000<sup>⑤</sup>区域地质调查工作,系统地对区内各时代地质填 图单位进行了划分厘定,为该区地质矿产编图奠定了重要基础。





1一怀安杂岩; 2一孔兹岩系; 3一斑状花岗岩; 4一白岗岩; 5一徐武家变质基性岩墙; 6一断层或构造接触

由于该地区岩石经历强烈的变质--变形改造,变质程度深且存在多期构造叠加,普 遍受到深熔-混合岩化作用等特征,各岩石填图单位间的划分对比存在较大困难,尤其 对于是否存在新太古代变质表壳岩,孔兹岩系的形成时代是新太古代还是古元古代,高 压基性麻粒岩变质作用是连续的构造演化过程还是记录 2 期构造造山事件,孔兹岩带和 怀安杂岩间是否存在构造边界 (翟明国,2009;赵国春,2009;Zhao Guochun et al., 2010,2012;Wang Luojuan et al.,2015;Liao Yue and Wei Chunjing,2019)等问题长期 存在争议。2016-2018年,由中国地质调查局天津地质调查中心组织实施的"燕山--太 行成矿带丰宁和天镇地区地质矿产调查"项目,在晋冀蒙交界天镇--怀安地区部署了 1:50 000 天镇幅 (K50E022001)、怀安镇幅 (K50E022002)、东六马坊幅 (K50E023002) 联测区域地质调查工作,重点对区内新太古代--古元古代变质基底的岩浆--变质-构造进

# 地质科学数据专辑

行详细调查研究,获得了一系列重要进展,其中包含怀安镇幅 (K50E022002) 地质图填 图成果 (表 1,图 2)。该图幅在系统总结前人填图及研究资料基础上,采用现代变质岩 区填图技术方法,对区内新太古代一古元古代变质基底岩浆岩、变质作用以及构造等进

表 1 数据库 (集) 元数据简表

条目	描述
数据库(集)名称	晋冀交界怀安镇幅(K50E022002)1:50 000地质图数据库
数据库(集)作者	张家辉,中国地质调查局天津地质调查中心 王惠初,中国地质调查局天津地质调查中心 相振群,中国地质调查局天津地质调查中心 杨济远,河北省区域地质调查院 田 辉,中国地质调查局天津地质调查中心 任云伟,中国地质调查局天津地质调查中心 康辰凯,河北省区域地质调查院
数据时间范围	2016—2018年
地理区域	经纬度:东经114°15'~114°30',北纬40°20'~40°30'
数据格式	MapGIS, JPG, PDF, CorelDraw, Illustrator
数据量	137 MB
数据服务系统网址	http://dcc.ngac.org.cn
基金项目	中国地质调查局地质调查项目: "燕山-太行成矿带丰宁和天镇地区地质矿 产调查" (DD20160042)
语种	中文
数据库(集)组成	1:50 000地质图库和图饰部分。地质图包括沉积岩、岩浆岩、变质岩、第 四纪、脉岩、构造、地质界线、产状、同位素年龄、岩性花纹、填图单位 代号等。图饰部分包括综合地层柱状图、构造-岩石地层单位柱状图、侵入 岩演化序列表、早前寒武纪构造单元划分图、图例、构造纲要图、变质相 划分图、图切剖面、接图表、责任栏、中国地质调查局局徽、比例尺、引 用格式等



# 中国地质

行了重新划分厘定,为区域地质事件的划分与对比提供新的依据,地质图面的表达方法 为高级变质岩区地质编图提供了参考范例。

# 2 数据采集和处理过程

# 2.1 基础数据采集

怀安镇幅 (K50E022002) 1:50 000 地质图按照中国地质调查局新颁布的《1:50 000 区域地质调查技术要求》(DD 2019-01)和行业其他统一标准及要求,在参考前人区 调、矿产等地质资料基础上,通过野外地质调查实际资料采集填绘而成,代表了最新的 地质填图成果。地理底图采用最新的 1:50 000 地形图为基础,经 MapGIS 软件矢量化 处理和投影转换 (坐标类型为平面直角坐标系统,投影类型为高斯-克吕格投影,椭球参数为西安 80)形成。填图工作的野外地质数据采集和处理采用数字地质调查系统 (DGSS)。

# 2.2 数据处理

### 2.2.1 野外地质填图

野外原始资料采集过程中,以怀安镇幅所辖的4幅1:25000图幅地形图为背景图 层,按照1:50000填图工作精度布置调查路线,并在重点工作区适当加密。通过野外 实际地质路线调查,系统采集地质点(P)、地质路线(R)、地质界线(B)、样品、素描、 产状、照片等信息,重点描述地质点、地质界线或构造界线内容,对路线中的岩性、变 质作用以及构造等进行重点观察,拟写路线小结。利用数字填图系统经规范性整饰(如 线颜色、宽度及子图大小等)和逻辑性检查后,完成单条路线数字化工作。

2.2.2 室内数据整理及建库流程

将野外地质路线数据进行入库汇总,形成野外 PRB 总图库,此过程将各实体观测数据点、线采集层和标注图层继承到 1:25 000 实际材料图库中。将 4 幅 1:25 000 实际材料图合并成一个工程文件,合理运用"V"字形法则进行地质连图,勾绘地质界线,在此过程需充分考虑产状特征,注意地质体之间的交切以及地质界线与构造面理间的协调关系。强烈变形的地质体,尤其是构造透镜体的界线要圆润,最好以曲线绘制。在完成 4 幅 1:25 000 实际材料图的连图工作后,将其投影生成 1:50 000 的编稿原图,并进行规范性、标准化整饰,为了图面简洁美观,连图后可适当删除小型地质体、无意义的断层和多余的产状。对地质界线进行拓扑建区,确定不同地质单元的颜色表达,同时检查各地质要素的表达和图面结构是否合理,满足地质图标准及规范。

# 2.2.3 图饰部分编制

根据怀安镇幅地质结构及特征,综合分析,绘制图饰和图例,具体包括以下内容:

(1)综合地层柱状图:对图幅内新生界沉积地层单元岩性组合、火山--沉积相等进行综合表达。

(2)构造-岩石地层单位:对图幅内新太古代-古元古代变质表壳岩的岩石组合、原 岩建造、变质相、年龄、含矿性、构造背景等进行综合表达。变质地层单位采用"特征 变质矿物+岩石组合+构造"进行划分厘定,确定了新太古界桑干岩群和古元古界集宁岩 群两套不同性质和成因的填图单位。

(3) 侵入岩演化序列表:对新太古代一古元古代变质深成岩根据"特征变质矿物+原 岩岩性+构造"特征进行划分厘定,在野外调查和室内研究后尽量恢复深成岩的原岩岩



性,建立相应的填图单位代号,同时根据变质-变形程度,划分了构造层次;对中元古 代以来的岩浆岩体进行了划分,主要包括中元古代辉绿岩墙和晚侏罗世二长闪长岩。

(4) 早前寒武纪构造单元划分图:根据新的地质资料,将华北克拉通早前寒武纪构 造单元进行了新的划分,将贺兰山-鄂尔多斯盆地基底-集宁-大同-承德一线划归为古 元古代碰撞造山带,称为"贺兰山-恒山-承德造山带(古弧盆系)",并进一步细分为 5个次级构造单元(图 2)。本次工作区主要位于恒山-桑干高压麻粒岩带。

(5)构造纲要图:对图幅内主要的面理、线理和断层等构造要素进行综合表达。通 过对早前寒武纪变形构造解析,确定了古元古代2期变形构造样式,新太古代构造由于 遭受古元古代造山作用的强烈改造,构造样式无法识别。古元古代第1期变形(D1):形 成于俯冲造山过程的早期,增厚的造山带根部地壳岩石发生近S或SSE向层状流动变 形,发育面理构造(S1),总体产状为160°~195°∠24°~50°,线理(L1)产状为150°~ 160°∠24°~50°,仅局部保留在TTG岩石和变质表壳岩构造团块(变基性岩+BIF组 合)中;第2期变形(D2):形成于造山晚期,在地壳折返–剥露过程中,差异性隆升,形 成区域性广泛存在的面理构造(S2)和SW向矿物拉伸线理和A型褶皱,总体面理产状 (S2)倾向为150°~210°,倾角在不同岩性中变化较大,线理(L2)的倾伏向指向 SW(210°~250°),倾伏角15°~30°。同时对中–新生代脆性断裂构造进行了系统总结: 印支期(晚三叠世)构造线为E–W向,局部保存该期构造形迹;燕山期(晚侏罗世–早白 垩世)构造线为NE、NEE和NW向,该期表现为太行山隆起;喜马拉雅期(中新世–上 新世)构造线为以NE向为主,局部为NEE向,兼具右旋剪切作用,形成山西地堑系 (杨济远等, 2020)。

(6) 变质相带划分图:对图幅内变质基底的变质程度进行了分析,并以最高变质级 别确定岩石的变质相。区内以高角闪岩相一麻粒岩相变质作用为主,局部记录高压麻粒 岩相变质作用。变质岩主要以区域变质岩为主,并伴随着强烈的深熔作用。值得注意的 是区内存在含石榴子石"白眼圈"结构的高压基性麻粒岩,它记录了峰期高压麻粒岩相 和晚期麻粒岩相一角闪岩相退变质过程(张家辉等,2019c)。

(7) 图切剖面: 图幅内的构造线主体方向为东西向或北东-南西向。为了有效地反映 图幅内各地质体的空间位态及构造特征,布置了2条北西向图切剖面,控制了区内新太 古代变质深成岩、新太古代-古元古代变质表壳岩及新生代沉积地层,反映了不同地质 体之间的接触关系和变形特征。

#### 3 数据样本描述

### 3.1 数据的命名方式

地质面.wp, 地质线.wl, 地质点.wt。

### 3.2 图层内容

怀安镇幅1:50000数字地质图由主图、图例及图饰内容等构成。

主图内容包括沉积岩、火山岩、侵入岩、变质岩、第四系、地质界线、流线构造、 产状、同位素年龄、特殊标志层及各类代号等。

图饰内容包括综合地层柱状图、构造-岩石地层单位柱状图、侵入岩演化序列表柱 状图、早前寒武纪构造单元划分图、构造纲要图、变质相划分图、图切剖面、图名、中 国地质调查局局徽、比例尺、接图表及责任栏等。

### 3.3 数据类型

实体类型名称:点、线、面。 点实体:各类地质体符号、产状、地质花纹、标记及同位素年龄等。 线实体:地质界线、流线构造、变质相带、地质引线及特殊标志层等。 面实体:沉积岩、火山岩、侵入岩、变质岩及第四系等。

# 3.4 数据属性

怀安镇幅 (K50E022002) 1:50 000 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。地理要素信息属性沿用国家测绘地理信息局收集数据的属 性结构。地质实体要素信息属性按照《地质信息元数据标准》(DD 2006-05)、《数字地 质图空间数据库标准》(DD 2006-06)要求,分四大岩类(沉积岩、火山岩、侵入岩、变 质岩)、断裂构造、产状要素等分别建立数据库属性,全程采用数字地质调查综合平台 (DGSS)完成。

沉积岩建造数据属性主要有:年代地层单位、岩石地层单位、建造名称、建造代码、岩性组合、地层时代、建造厚度、建造含矿性、岩石结构、沉积构造、岩石颜色、 沉积作用类型、沉积相类型、同沉积构造。

火山岩建造数据属性主要有:年代地层单位、岩石地层单位、建造名称、建造代码、地层时代、地层分区、岩性组合、建造厚度、建造含矿性、火山喷发旋回、火山喷 发类型、火山岩成因类型、特殊岩性夹层、火山岩相类型、同位素年龄。

侵入岩建造数据属性主要有:建造名称、建造代码、岩性组合、建造含矿性、岩石 结构、岩石构造、侵入期次、岩体产状、平面形态、剖面形态、岩体侵位构造特征、接 触带特征、成因类型、同位素年龄。

变质岩建造数据属性主要有:年代地层单位、岩石地层单位、建造名称、建造代码、岩性组合、地层时代、建造厚度、建造含矿性、岩石结构、岩石构造、原岩建造、 变质相、变质作用类型。

断裂构造数据属性主要有:断裂名称、断裂类型、断裂延长、断裂延深、断裂宽 度、断裂走向、断裂面倾向、断裂面倾角、断距、断裂面形态、构造岩特征、运动方 式、活动期次、力学性质。

产状数据属性有:产状类型、倾向、倾角。

# 4 数据质量控制和评估

怀安镇幅 1:50 000 区域地质调查填图精度严格按照《1:50 000 区域地质调查技 术要求》(DD 2019-01)和行业其他统一标准及要求执行,在野外路线调查和地质图编 制过程满足地质图出版要求。在项目执行过程中,野外填图技术人员对野外路线内容进 行 100% 自检和 100% 互检,项目组再抽检 30%,重点检查各要素记录是否完整,点、 线、区属性是否符合规范;数据入库后检查各图层属性表和记录是否完整、属性代码和 格式是否正确、数据项内容和图元与属性的对应性等,在建库过程中经过多层、多环节 的质量检查与监督,确保数据库中数据准确无误。此外,对图面结构进行质量检查,确 保 MapGIS 输出的全要素彩色喷墨地质图内外整饰部分的标注、子图等内容表达规范, 检查地质体颜色标识、压盖关系以及角图绘制等是否合理等。1:50 000 怀安镇幅地质 图资料详实,各项内容完整,接触关系清楚,满足后续地质矿产调查和科研工作的 需要。

5 数据价值

怀安镇幅 1:50 000 地质图数据库在前人区域地质调查和科研工作基础上,创新变 质岩区填图技术和地质图面表达方法。

(1)进一步明确了晋冀蒙交界地区存在新太古代变质表壳岩,重新厘定了新太古代
桑干岩群和古元古代集宁岩群 2 套不同成因性质的变质表壳岩填图单单位,并划分了
3 个岩性段(表 1;张家辉等,2019a,2019b;田辉等,2019)。

(2) 对区内早前寒武纪变质深成岩进行了解体,建立了新太古代一古元古代岩浆事件 演化序列,划分出新太古代二辉石英闪长质片麻岩 (Ar<sub>3</sub>gn<sup>νγδο</sup>)、紫苏英云闪长质片麻岩 (Ar<sub>3</sub>gn<sup>νγδο</sup>)、(黑云)英云闪长质片麻岩 (Ar<sub>3</sub>gn<sup>νδο</sup>)、紫苏奥长花岗质片麻岩 (Ar<sub>3</sub>gn<sup>νγο</sup>)和片 麻状二长花岗岩 (Ar<sub>3</sub>ηγ) 5 个填图单位以及古元古代变质石榴花岗岩 (Pt<sub>1</sub>gηγ)(张家辉等, 2020a)、高压基性麻粒岩 (Pt<sub>1</sub>N<sup>1</sup>)、二辉麻粒岩 (Pt<sub>1</sub>N<sup>2</sup>)(张家辉等, 2020b)、变质二长花岗 岩 (Pt<sub>1</sub>ηγ) 和花岗伟晶岩 (Pt<sub>1</sub>γρ)等填图单位 (表 2,表 3)。

(3) 地质图中标注了锆石 U-Pb 年龄 11 组,为建立地质演化年龄格架和科研工作提供重要参考信息。

(4) 通过区域构造解析和综合分析,确定了早前寒武纪、中元古代和中新生代3个 构造层,对各构造层的构造变形特征、变形期次进行了详细调查,建立了区域构造演化 格架。

(5) 初步建立了高级变质岩区"特征变质矿物+岩石组合(原岩岩性)+构造"填图单位建立方法体系,并系统总结了变质深成岩和变质表壳岩的研究方法和识别标志。

(6) 在图面表达上,采用特殊线段直观地表达了古老造山带深部地壳岩石塑性流变构造变形样式,用红实线标识古元古代变质表壳岩与新太古代变质深成岩间为构造接触

时代 构造岩石地层 代号	<b>决</b> 岩石组合	原岩性质	分布地区	产状	年龄/Ma	矿产
古元 集宁黄土含墨 Pt <sub>1</sub> h. <sup>st</sup>	‴ 含石墨夕线石榴	富黏土质	主要分布	带状	碎屑锆石:	石墨
古界 岩群窑岩夕线	钾长/二长片麻	长石砂岩	于史家庄	构造	$2000 \sim 2300;$	矿
组帽片	岩、变粒岩及透	建造,夹	一带	岩片	变质锆石:	
麻岩	辉大理岩, 局部	少量碳酸			1837±16	
变粒	夹石英岩、钙镁	盐岩和石				
岩-大	硅酸盐岩及浅粒	英砂岩				
理岩	岩					
新太桑干阳高榴云 Ar <sub>3</sub> y.*	。 (条带状)石榴黑	含粘土质	主要分布	长条	碎屑锆石:	
古界 岩群岩组片麻	云斜长片麻岩夹	杂砂岩建	在黑石山	状、	~ 2522	
岩岩	石榴斜长变粒岩	造	至团山村	带状	变质锆石:	
段			一带	或透	2471±16;	
				镜状	1831±9	
二辉 Ar <sub>3</sub> y. <sup>1</sup>	" 变基性岩(二辉麻	基性火山	全区均有	透镜	结晶年龄:	阿尔
麻粒	粒岩)为主,夹条	; 岩夹磁铁	出露,分	状,	~ 2489	戈马
岩_铁	带状二辉磁铁石	石英岩,	布广,规	局部	变质年龄:	型
英岩	英岩,局部含石	含少量陆	模小	呈长	~ 1807	BIF铁
岩段	榴黑云斜长片麻	源碎屑岩	1.200	条状	The first of the second	矿
	岩	HE HARREN	1 2	1.1	8	A.
- 16	Jane T. 10	L. Faller L		.525		

表 2 怀安镇幅 1:50 000 早前寒武纪变质表壳岩构造--地层单元划分

http://geodb.ngac.org.cn/ 中国地质 2021, Vol.48 Supp.(1) | 75

76 | http://geodb.ngac.org.cn/ 中国地质 2021, Vol.48 Supp.(1)

关系,以黑粗线表示变质表壳岩中的 BIF 铁矿层,进一步丰富了图面。该图幅取得的调 查成果创新了高级变质岩区填图工作方法,为科学研究和地质矿产调查提供有益参考, 是高级变质岩区地质填图的重要参考范例。

### 6 结论

(1) 晋冀交界怀安镇幅 (K50E022002) 1:50 000 地质图是按照中国地质调查局新颁 布的区域地质调查技术要求及标准,采用现代变质岩区填图理念,创新图面表达方法编 制而成,为高级变质岩区填图工作具有一定示范作用。

(2) 按照数字填图工作流程,系统编制了怀安镇幅 (K50E022002) 1:50 000 地质图 数据库,数据库文件种类齐全、数据完整,可为编制各类地质图和专题图件提供基础信 息图库。

(3)该图幅对区内新太古代-新生代(变质)地层、岩浆岩、变质作用以及构造等进行了详细的划分厘定,建立了早前寒武纪3个构造-岩石地层单位、新生代8个地层单位以及新太古代-中生代8个(变质)侵入岩填图单位,识别出早前寒武纪、中元古代和中新生代多期韧-脆性变形构造样式,构建了晋冀交界地区沉积-岩浆-变质-构造演化序列。

**致谢:**本文是"1:50000天镇幅(K50E022001)、怀安镇幅(K50E022002)、东六马坊幅(K50E023002)区域地质矿产调查"子项目成果。感谢中国地质科学院地质研究所张聪研究员和发展研究中心张波、孟洁的帮助和支持。

注释:

山西省区域地质测量大队.1969.1:200 000 大同幅地质图及说明书(内部资料)

②河北省区域地质测量大队.1970.1:200 000 天镇幅地质图及说明书(内部资料)

- ③ 山西省地质矿产局区调队.1996.1:50 000 阳高测区区域地质调查报告(内部资料)
- ④河北省地质调查院区调所.2008.1:250 000 张家口市幅地质图及区域地质调查报告(内部资料)
- ⑤ 山西省地质调查院.2014.1:250 000 大同市幅地质图及区域地质调查报告(内部资料)

⑥山西省地质调查院.2014.1:50 000 天镇测区地质报告(内部资料)

#### 参考文献

Liao Yue, Wei Chunjing. 2019. Ultrahigh-temperature mafic granulite in the Huai'an Complex, North China Craton: Evidence from phase equilibria modelling and amphibole thermometers[J]. Gondwana Research, 76: 62–76.

Wang Luojuan, Guo Jinghui, Peng Peng, Liu Fu, Windley Brian F. 2015. Lithological Units at the Boundary Zone Between the Jining and Huai'an Complexes (Central–Northern Margin of the North China Craton): a Paleoproterozoic Tectonic Mélange?[J]. Lithos, 227: 205–224.

Zhao Guochun, Sun Min, Wilde Simon A, Li Sanzhong. 2005. Late Archean to Paleoproterozoic evolution of the North China Craton: Key issues revisited[J]. Precambrian Research, 136(2): 177–202.

Zhao Guochun, Wilde Simon A, Guo Jinghui, Cawood Peter A, Sun Min, Li Xuping. 2010. Single Zircon Grains Record Two Paleoproterozoic Collisional Events in the North China Craton[J]. Precambrian Research, 177: 266–276.

Zhao Guochun, Cawood Peter A, Li Sanzhong, Wilde Simon A, Sun Min, Zhang Jian, He Yanhong, Yin

# 中国地质

Changqing. 2012. Amalgamation of the North China Craton: key issues and discussion[J]. Precambrain Research, 222: 55–76.

- 耿元生, 沈其韩, 任留东. 2010. 华北克拉通晚太古代末-古元古代初的岩浆事件及构造热体制 [J]. 岩石学报, 26(7): 1945-1966.
- 田辉,张家辉,王惠初,任云伟,王权.2019. 怀安杂岩中含 BIF 岩石组合的形成时代及产出构造背景 [J]. 地球科学,44(1):37-51.
- 万渝生, 董春艳, 任鹏, 白文倩, 颉颃强, 刘守偈, 谢士稳, 刘敦一. 2017. 华北克拉通太古宙 TTG 岩石 的时空分布、组成特征及形成演化: 综述 [J]. 岩石学报, 33(5): 1405-1419.
- 王惠初, 于海峰, 苗培森, 赵凤清, 相振群. 2011. 前寒武纪地质学研究进展与前景 [J]. 地质调查与研 究, 34(4): 241-252, 312.
- 杨济远,张家辉,王惠初,田辉,任云伟,白春东,李杰,朱本鸿,康辰凯,周敬. 2020. 晋冀蒙交界东六 马坊幅1:50 000 地质图数据库 [J]. 中国地质, 47(S1): 146-161.
- 翟明国. 2009. 华北克拉通两类早前寒武纪麻粒岩 (HT-HP 和 HT-UHT) 及其相关问题 [J]. 岩石学 报, 25(8): 1753-1771.
- 翟明国. 2011. 克拉通化与华北陆块的形成 [J]. 中国科学: 地球科学, 41(8): 1037-1046.
- 赵国春. 2009. 华北克拉通基底主要构造单元变质作用演化及其若干问题讨论 [J]. 岩石学报, 25(8): 1772-1792.
- 张家辉,田辉,王惠初,施建荣,任云伟,初航,常青松,钟焱,张阔,相振群.2019a. 华北克拉通怀安杂 岩中早前寒武纪两期变质表壳岩的重新厘定:岩石学及锆石 U-Pb 年代学证据 [J]. 地球科学, 44(1): 1−22.
- 张家辉,王惠初,田辉,任云伟,施建荣,常青松,相振群,初航,王家松.2019b.华北克拉通怀安杂岩新太古代和古元古代富铝变质表壳岩的地球化学特征及构造意义 [J].地质学报,93(7): 1618-1638.
- 张家辉, 王惠初, 田辉, 任云伟, 常青松, 施建荣, 相振群. 2019c. 华北克拉通怀安杂岩中"MORB"型 高压基性麻粒岩的成因及其构造意义 [J]. 岩石学报, 35(11): 3506-3528.
- 张家辉, 王惠初, 郭敬辉, 田辉, 任云伟, 常青松, 施建荣, 相振群. 2020a. 华北克拉通怀安杂岩中 ~ 2.03 Ga 变质石榴花岗岩的成因其对古元古代裂谷事件的制约 [J]. 地质调查与研究, 43(2): 114-126.
- 张家辉,王惠初,郭敬辉,田辉,任云伟,常青松,施建荣,相振群.2020b.天镇-怀安地区变质基性岩墙群:华北克拉通古元古代末期碰撞-伸展构造体制转换标志[J].地球科学,45(9):3239-3257.