

收稿日期: 2021-06-08
改回日期: 2021-06-21

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目: “秦祁昆结合部构造事件调查及增生杂岩专题填图试点” (DD20160201-04) 和自然科学基金项目: “拉脊山早古生代海沟—岛弧体系演化研究” (41672221); “拉脊山早古生代洋盆持续时限研究” (41702239) 资助。

doi: 10.12029/gc2021Z206

论文引用格式: 闫臻, 牛漫兰, 付长垒, 曹泊, 李秀财, 孙毅. 2021. 拉脊山昂思多蛇绿岩—增生杂岩 1 : 25 000 专题地质图数据集 [J]. 中国地质, 48(S2): 53-65.

数据集引用格式: 闫臻, 牛漫兰, 付长垒, 曹泊, 赵齐齐, 李秀财, 韩雨, 孙毅. 2021. 中国地质调查局: 拉脊山昂思多 (J48E023001 和 J48E023002 图幅之内) 1 : 25 000 蛇绿岩—增生杂岩专题地质图数据库 [DB]. 地质科学数据出版系统. DOI:10.35080/data.C.2021.P22; <http://dcc.ngac.org.cn/cn/geologicalData/details/doi/10.35080/data.C.2021.P22>

拉脊山昂思多蛇绿岩—增生杂岩 1 : 25 000 专题地质图数据集

闫臻¹ 牛漫兰² 付长垒¹ 曹泊³ 李秀财² 孙毅²

(1. 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037; 2. 合肥工业大学, 安徽 合肥 230009;
3. 江苏地质矿产设计研究院, 江苏 徐州 221006)

摘要: 专题地质填图是揭示造山带结构、组成及其时空配置关系与形成机制的有效手段。本专题坚持“以块体和基质作为混杂岩地质调查和地质填图的基本单位”以及“物质组成与结构构造并重”的地质填图理念, 开展并完成了祁连造山带拉脊山蛇绿岩—增生杂岩 1 : 25 000 专题地质填图。通过专题地质图, 精细刻画了拉脊山混杂岩的结构与组成、成因类型和时空配置关系, 重建了南祁连早古生代大洋板块地层序列, 划分了大地构造相, 揭示了原特提斯洋沟—弧—盆体系演化历史。拉脊山昂思多蛇绿岩—增生杂岩专题地质图、混杂岩填图方法和系列填图成果彰显了基础地质调查是解决关键地质科学问题和提升基础地质理论认识的最佳途径, 也体现了专题地质填图是加快地调科研融合与地质调查转型升级的最有效方式。

关键词: J48E023001; J48E023002; 大洋板块地层; 蛇绿岩; 混杂岩; 专题地质填图试点; 混杂岩填图方法; 原特提斯洋; 地调科研融合

数据服务系统网址: <http://dcc.ngac.org.cn/>

1 引言

混杂岩是造山带内最常见的地质体和最基本的大地构造相单元 (李继亮, 1992; Şengör AMC and Natalin BA, 1996; 潘桂棠等, 2008; Festa Andrea et al., 2010; 闫臻等, 2018, 2020), 是由多种地质作用共同形成的可作为一定比例尺 (1 : 25 000 或更大) 的地质填图单元, 并由块体和基质共同构成的内部无序的岩石混杂体 (Hsü K Jinghwa, 1968; Silver EA and Beutner EC, 1980; Raymond Loren, 1984; Festa Andrea et al., 2010; 闫臻等, 2018)。混杂岩的形成和就位构造环境不一致, 并非所有混杂岩都具有古板块构造格局指示意义 (Festa Andrea et al., 2010; 闫臻等, 2018)。蛇绿混杂岩和增生杂岩可作为古洋盆和汇聚板

第一作者简介: 闫臻, 男, 1970 年生, 研究员, 博士, 主要从事造山带沉积学研究; E-mail: yanzhen@mail.iggcas.ac.cn。

块边界的直接判别标志,其结构、组成与时空配置共同记录了古大洋板块地层系统发展及大陆地壳侧向与垂向增生历史。以大洋板块地层和大地构造相理论为指导,专题地质填图是揭示造山带蛇绿混杂岩和增生杂岩结构、组成及其时空配置关系与形成机制的有效手段(Hsü K Jinghwa, 1968; 张克信等, 2001; 李荣社等, 2016; 闫臻等, 2018, 2020)。也是开展洋—陆转换研究、提高造山带结构认知程度最基本途径。

祁连造山带位于青藏高原东北缘(图 1a),是原特提斯洋经历多期次、多个方向俯冲—增生—闭合和碰撞作用的共同产物(许志琴等, 1994; 张雪亭等, 2007; Xiao Wenjiao et al., 2009; Pan Guitang et al., 2012; Yan Zhen et al., 2015, 2019; Xia Linqi et al., 2016; Zhang Jianxin et al., 2017; Fu Changlei et al., 2018, 2020)。其中北祁连构造带包含有增生楔、蛇绿岩、岛弧和弧前/弧后盆地等大地构造相单元,呈现出类似马里亚纳的完整“沟—弧—盆”体系(许志琴等, 1994; 张建新等, 1998; 闫臻等, 2008; Fu Changlei et al., 2020; Yan Zhen et al., 2021)。然而,相对于北祁连构造带,南祁连构造带的结构与组成则长期存在争议,主要表现在对该构造带北缘断续出露的寒武—奥陶纪基性—中性火山岩、超基性岩及相关沉积组合形成构造环境,存在大陆裂谷(邱家骧等, 1997; 左国朝和李林志, 2001)、大洋高原(Song Shuguang et al., 2017)、外来块体(王二七等, 2000)及沟—弧体系(Xiao Wenjiao et al., 2009; 闫臻等, 2012)等不同认识(图 1b)。这些分歧是由于对拉脊山地区增生杂岩和蛇绿岩结构、组成以及相关的大洋板块地层缺乏精细解剖,严重影响了人们对南祁连构造带结构与原特提斯洋构造演化认识。

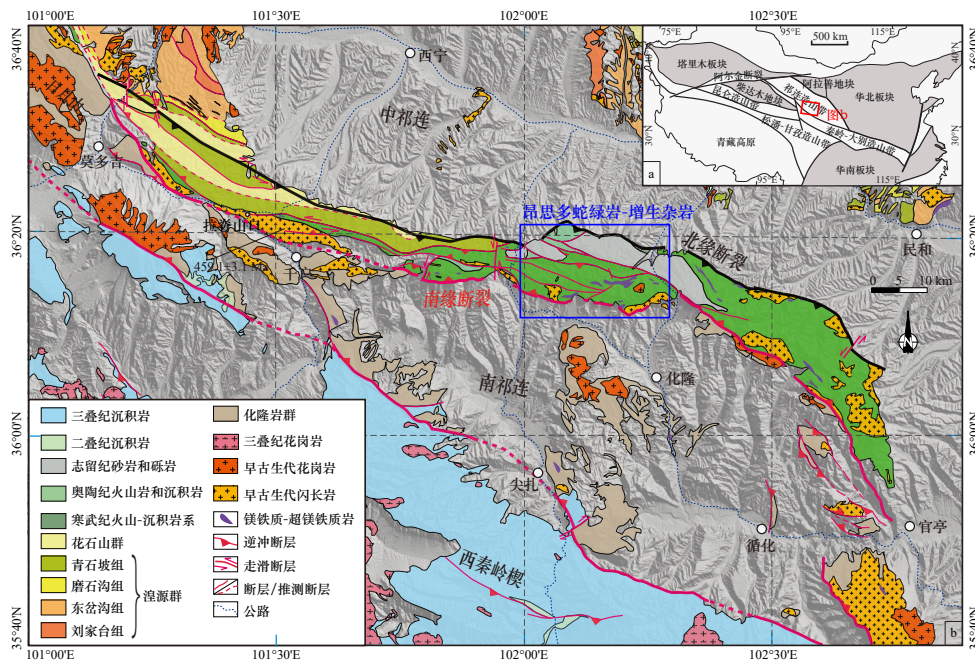


图 1 中国构造格架 (a) 以及拉脊山及邻区地质图和填图位置 (b)

为此,本专题以拉脊山昂思多地区为地质调查工作区,开展 1:25 000 专题地质填图,通过沉积学、岩石学和古生物学,并结合构造地质学、地球化学和锆石年代学等多学科相结合,全面调查并系统研究蛇绿岩和增生杂岩结构、组成及时空分布特征,综合分析并重建拉脊山地区早古生代大洋板块地层时空格架。本专题完成并取得的拉脊山昂思多蛇绿岩—增生杂岩 1:25 000 专题地质图(表 1)、混杂岩填图方法和系列填图成果为认识祁

连造山带早古生代造山作用与原特提斯洋演化提供了直接证据,也为造山带古洋盆演化研究提供了重要参考,并为造山带同类型复杂构造区专题地质图和研究提供了实例。

表1 数据库(集)元数据简介

条目	描述
数据库(集)名称	拉脊山昂思多(J48E023001和J48E023002图幅之内)1:25 000蛇绿岩-增生杂岩专题地质图数据库
数据库(集)作者	闫臻,中国地质科学院地质研究所 牛漫兰,合肥工业大学 付长垒,中国地质科学院地质研究所 曹泊,江苏地质矿产设计研究院 李秀财,合肥工业大学 孙毅,合肥工业大学
数据时间范围	2016—2018年
地理区域	青海省海东市,东经102°0′~102°18′,北纬36°12′~36°20′
数据格式	MapGIS, JPG, PDF, CorelDraw, Illustrator
数据量	530 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:“秦祁昆结合部构造事件调查及增生杂岩专题填图试点”(DD20160201—04)和国家自然科学基金项目:“拉脊山早古生代海沟—岛弧体系演化研究”(41672221),“拉脊山早古生代洋盆持续时限研究”(41702239)
语种	中文
数据库(集)组成	1:25 000地质图库、角图和整饰。地质图库包括沉积岩、岩浆岩、构造、地质界线、产状、岩性花纹、各类代号等。角图部分包括沉积岩、侵入岩、蛇绿岩、构造、图切剖面、大地构造相图、拉脊山及邻区地质图、构造演化模式图、说明等。整饰部分包括接图表、中国地质调查局局徽、图名、比例尺、坐标参数、责任栏、引用格式等

2 地质调查工作方法

混杂岩野外调查主要是围绕着块体和基质2个基本组成单元、以及“基质裹夹块体且内部无序”这一独特结构特征来开展野外地质调查,进而将获取的各种地质要素信息客观、真实、有效的表示于适当比例尺的地形图上,再经综合分析最终形成混杂岩地质图。为了在地质图上尽可能的全面客观地反映混杂岩露头特征并体现混杂岩成因,地质填图人员首先必须全面了解填图区区域地质特征、熟悉混杂岩基本特征和成因现状以及存在问题;同时必须通过多学科、多专业高水平人员进行分工协作来共同完成(闫臻等, 2018, 2020)。通过大比例尺岩性—构造填图,力求将岩石及相互之间的关系(构造、侵入或沉积接触关系)全面刻画出来,尽可能地将混杂岩的物质及其组成准确地识别、表示。填图路线灵活掌握,地质现象引导路线,切忌机械地按网度布设。具体野外地质调查方法如下。

2.1 明确重点填图区、地质填图主导思想拟解决的关键科学问题

收集、综合分析区域地质资料和填图区各类有关混杂岩地质资料,进行野外实地踏勘,充分利用遥感资料,初步确定混杂岩的性质和范围、混杂岩中的块体类型与基质组成特征;针对资料分析和野外踏勘结果,确定填图区位置和范围,结合对混杂岩形成过程、

蛇绿混杂岩和增生杂岩结构与组成特征、以及彭罗斯蛇绿岩层序模型和大洋板块地层(OPS)理想层序模型知识的掌握,明确野外地质调查过程中需要注意事项,进一步明确重点填图区、地质填图主导思想和拟解决的关键科学问题,以确保高效、高质量地完成填图区地质调查。

2.2 地形地貌景观与系统调查相结合,推断与野外全面检查相结合

混杂岩通常与区域性断裂密切相关、且断续出露于造山带地势地貌急剧变化部位。因此,对弱覆盖区尽可能优先利用地形地貌及卫星遥感影像等资料直接进行推断、并在地形图上标绘,然后通过野外高密度路线穿越和追踪,进一步检查并修订其边界和补充岩性。这种方法可能难以将小尺度块体和基质识别出来,所以野外全面开展地质填图始终是混杂岩地质调查的最基本方法。

2.3 块体、基质和构造变形双重调查与岩性—构造地质填图

块体和基质是构成混杂岩的2个基本组成单元,也是作为混杂岩的最基本填图单位(闫臻等,2018)。它们与混杂岩内的构造变形共同记录了混杂岩形成过程及相关地球动力学背景。因此,野外地质调查混杂岩的物质组成时,务必同时调查其构造变形。其中物质组成需要调查混杂岩岩石组合、形成时代、变质程度(时代)、形成环境等;构造变形调查是以往填图中的薄弱环节,也是混杂岩地质填图的难点,需要尽可能调查并填绘构造的空间展布、组合、运动学标志、截切关系,从而厘清构造几何学、运动学、动力学以及变形时代等,并通过构造类型及矿物组合反映其形成的温度、压力等条件。在调查过程中,需要注意加强小构造解析调查,以确保对宏观主体构造样式客观反映。

物质及其组合是确定混杂岩带形成构造背景的载体,应在可填图尺度内尽可能识别、表示。混杂岩块体可能为不同规模、不同岩性、不同来源和不同时代的单一岩性或多种岩性组合体。在野外调查过程中应通过追踪调查,研究每个块体形态、规模、岩性、岩性组合及其矿物组成、变形特征和相互关系。实际调查过程中,小尺度(数米~数十米)岩块很容易通过追踪法来实现,大尺度(几百米~数千米)岩块在通过穿越和追踪法来查明其内部岩性和/或密切伴生的岩性组合(如在同一混杂岩内多处出露的枕状玄武岩和硅质岩)、结构、变形、变质和/或沉积相和沉积构造特征;注意观察块体中是否含有古生物化石。此外,对于数千米~数十千米(甚至数百千米)块体可按照岩石地层方法对其进行内部组成空间变化来研究和描述。

基质通常为细碎屑岩和蛇纹岩,但也不排除部分构造混杂岩基质是块体构造碎裂化的结果。通过全面路线地质穿越和追踪法调查,观察并查明基质的岩性和构造变形空间变化特征;观察、测量基质和块体各种地质要素产状,对比分析块体与基质变形特征、并判断各类块体相互关系及可能来源;利用沉积构造判别基质形成沉积环境;注意观察基质中是否存在古生物化石。

在进行蛇绿混杂岩野外调查过程中,要对各类块体岩性、规模、空间展布、相互关系、变形特征和基质岩性、变形特征进行全面追踪观察,并测量各种地质要素产状。观察并查明橄榄岩块体剪切变形特征并测量构造要素。大比例构造解析填图是建立混杂岩构造样式的有效方法(闫臻等,2018)。详细观察并追踪查明与蛇绿混杂岩相邻构造单元的接触部位是否存在代表变质底板的变质岩(如斜长角闪岩),如果存在则要查明其规模、变质矿物组合、矿物拉伸线理和韧性剪切标志以及运动学性质,注意通过追索法查明运动学特征是否存在空间上的变化;对放射虫硅质岩及其他深海沉积物进行全面调查

来查明空间展布特征,采集分析样品。注意对没有蛇纹岩或者复理石基质的蛇绿混杂岩需要通过密集路线追踪各个块体相互关系,确定块体形状和规模,测量各类块体之间的断层产状;尤其注意块体是否为“透镜体”或“布丁”而被网节状片理化带所分割;采集辉长岩、斜长花岗岩和斜长角闪岩锆石同位素年代学分析样品,同时采集斜长角闪岩 Ar-Ar 年代学样品。

增生杂岩中玄武岩和浅水碳酸盐岩块体通常来自于海山,硅质岩来自于深海/远洋环境,杂砂岩和砾岩则来自于海沟浊积岩。因此,野外需要注意追索枕状玄武岩块体边界,查明是否存在枕状玄武岩+灰岩、枕状玄武岩+硅质岩、硅质岩夹薄层灰岩、硅质岩+砂岩/页岩或砂岩/页岩块体组合,与洋壳 OPS 和海山 OPS 结构模型对比,分析其原岩的可能位置;对所有不同尺度硅质岩块体进行追索,查明其是否与其他岩石共存,并注意观察其颜色和是否含有放射虫以及空间分布特征,采集相关分析样品;追踪所有褶皱、断裂和相关线理、片理等小型构造并测量其产状,判别构造运动方向;追踪并查明每个构造席体内部岩石组合类型、及总体构造样式和总体构造运动方向。

在野外调查过程中,注意观察不同块体之间的区别以及各类断裂规模、性质和运动指向,寻找采集可能的合适测年样品,追踪增生杂岩不同构造席体岩性组合空间变化特征,为综合判别古板块俯冲极性提供野外证据。此外,需要注意观察在蛇绿混杂岩和增生杂岩中是否存在底辟混杂岩、沉积混杂岩。底辟混杂岩主要是观察基质与块体关系,最典型标志是蛇纹岩或细粒碎屑液化脉贯入块体裂隙中、并呈在块体边缘形成类似“火焰”特征裙边;沉积混杂岩其典型特征是块体与基质为沉积接触关系,块体中可能发育滑塌褶曲或者块体周围碎屑沉积物基质内发育同沉积构造。

在对混杂岩物质组成和构造变形区域地质调查基础上,选择填图区内典型地区测制混杂岩详细的岩性-构造综合剖面,全面、系统地采集各类样品,更精细地查明混杂岩的组成特征。

2.4 室内综合研究

2.4.1 岩相学、矿物学和地球化学分析

在野外露头地质研究基础上,室内开展岩石薄片和矿物电子探针分析,进一步确定各类块体和基质的岩性、矿物组成和岩浆岩矿物生成顺序,尤其是玄武岩主要矿物和副矿物组成特征以及矿物内变形情况,如是否有破碎现象;选择蚀变相对较弱的火山岩块体,开展岩石地球化学、Sr-Nd-Pb 和锆石 Hf-O 同位素地球化学分析,结合野外地质调查结果,推断各类块体可能来源和构造属性。

2.4.2 年代学研究

对硅质岩和深海泥岩、灰岩进行放射虫和牙形刺化石鉴定,确定其形成时代;对辉长岩、斜长花岗岩块体开展锆石 U-Pb 年龄同位素测定;对砂岩开展碎屑锆石 U-Pb 年龄测定,分析其沉积年龄下限;对变质块体和变质基质通过锆石 U-Pb 和角闪石 Ar-Ar 年代学测定研究原岩形成时代和变质时代;选择混杂岩边界断裂内可能合适矿物进行 Ar-Ar 测年以确定断裂形成时代。

2.4.3 岩浆演化与沉积物源区分析

综合岩相学、矿物学、地球化学以及 Sr-Nd-Pb 和 Hf-O 同位素资料,分析岩浆源区及演化过程;对砂岩开展碎屑组成、碎屑标型矿物组合及化学成分、碎屑锆石 U-Pb 年龄谱综合测定,分析其物源区。

2.5 综合分析, 确定混杂岩(带)类型、形成过程

(1) 综合分析已有资料, 归纳填图单位。

(2) 综合野外地质调查结果和室内各种分析测试结果, 依据蛇绿岩、海山和洋中脊—海沟 OPS 理想模型, 全面分析混杂岩(带)中各类块体可能的构造属性及来源、构造变形序列和大地构造背景, 确定混杂岩类型, 恢复混杂岩(带)内块体原始时空序列及时空配置, 重塑古地理和古板块构造格局。

此处需要强调的是, 单一的事实和现象可能存在多解性, 混杂岩研究应注意采用多种证据相结合的做法来确定某一种可能性或解释。例如, MORB 型玄武岩可以形成于洋中脊环境, 也可以形成于扩张脊俯冲的构造背景中。混杂岩中玄武岩的形成环境, 可根据野外基本地质特征及伴生岩石组合和室内显微结构分析结果, 结合矿物组合、矿物生成顺序和辉石化学成分以及岩石地球化学特征来综合判别。

3 数据采集处理与图件制作

3.1 数据采集处理

拉脊山昂思多蛇绿岩—增生杂岩专题填图在全面收集、分析区域地质资料和填图区各类有关混杂岩地质资料基础上, 根据项目野外实际地质调查资料(实际材料图、剖面图)重新绘制而成。填图和制图软件使用数字填图系统(DGSS), 地理底图采用 DEM 数据制作而成, 投影系统为高斯—克吕格投影参数, 坐标系统为西安 80 坐标系。

3.2 图件制作

本专题地质填图采取上述野外地质调查方法, 根据数字填图系统要求, 野外填图过程中在系统采集地质点、界线点和地质界线及路线等点、线信息, 观察并录入各点的性质、岩性、地质体产状等各类信息。对所有地质路线内容进行入库汇总整合, 形成野外 PRB 总图库。

在完成编稿原图的基础上, 结合图幅研究内容、目标和成果编制主图外侧图件, 包括地层综合柱状图、侵入岩填图单元划分表、蛇绿岩岩石组合特征、大地构造相图、拉脊山及邻区地质图与填图区位置、图切剖面、说明、图例、责任签栏、大地构造演化模式图、OPS 和蛇绿岩典型野外照片以及地球化学判别图。

(1) 地层综合柱状图: 对昂思多地区岩石地层单元沉积建造特征进行详细表达。系统梳理图幅内各地层单元地层层序、沉积建造特征, 结合锆石测年资料, 综合反映其岩石组合、沉积环境、形成时代及接触关系等特征。

(2) 侵入岩演化序列表: 结合前人和最新获得的数据系统梳理昂思多地区岩浆岩岩石组成和形成时代, 编制填图区岩浆岩填图单元。

(3) 蛇绿岩岩石组合特征: 重点反映蛇绿岩的岩石组成和形成时代。

(4) 大地构造相图: 综合填图区野外填图和室内研究结果, 厘定各填图单元大地构造属性, 编制大地构造相图。

(5) 拉脊山及邻区地质图与填图区位置: 1:200 000 地质图和 DEM 相结合展示拉脊山地区岩石地层单元和填图区位置。

(6) 图切剖面: 东西两个剖面横切增生杂岩、蛇绿岩和岛弧 3 个主要构造单元, 展示 3 个单元截面特征和相互接触关系。

(7) 说明: 系统阐述填图区研究现状、关键问题以及填图认识。

(8) 图例和责任签: 图例标注根据不同地质体形成时代和构造属性, 恢复各时期不同构造单元的岩石组成序列; 责任签按照《1:50 000 区域地质调查技术要求》(DD 2019-01) 最新要求编制。

(9) 大地构造演化模式图: 综合分析洋盆俯冲、闭合等过程中形成的构造单元时空配置特征, 恢复拉脊山古洋盆俯冲极性、俯冲和闭合时限, 重建古洋盆俯冲—增生历史。

(10) OPS、蛇绿岩典型野外照片和地球化学判别图: 典型野外照片和地球化学图解共同呈现拉脊山 OPS 与蛇绿岩岩石组成和构造属性。

4 数据样本描述

物质组成和构造变形特征是混杂岩专题地质调查 2 项基本工作内容, 也是混杂岩地质图应该客观的、详细刻画和表述的基本内容和目标。

4.1 地质图面表述原则

区域地质调查的核心就是强调地质实体填绘, 实质上是由分解到组合的过程。根据《中国地层指南》, 作为混杂岩的基本组成和填图单元—基质和岩块, 与特殊夹层、接触变质带、蚀变带、变形带等均属于特殊岩石地层单位中的无级别非正式填图单位。然而, 部分填图人员从填图单位的继承性、区域地层对比、邻区接图等角度出发, 于是将这些非正式填图单位在当前 1:50 000、1:250 000 地质报告或各省(区、市)地质志、岩石地层等中划归为“岩群”“岩组”“岩段”, 甚至部分学者按照造山带不同演化阶段并根据大地构造环境含义的岩性组合来进行划分, 将其定义为火山(岛)弧、海山、复理石、磨拉石等岩片。其中前者缺乏统一的划分依据和标志, 后者以大地构造相为主线进行划分, 均带有明显的主观认识因素, 与地质填图客观表达地质体的初衷相违背。无论哪种方式都会造成实际操作与理念的矛盾。最为重要的是, 这种具有推断对比色彩的填图单位名称并不能真实反映“相变剧烈、穿时明显、构造改造强烈”的混杂岩地区的地质实体。为了尽可能在填图尺度内充分体现混杂岩物质及其组成特征, 应尽可能地在较大比例尺(1:25 000 甚至更大)地质图上填绘并客观表达非正式填图单位的物质及其组成, 在此基础上进行正式地层单位的归并, 从而实现通用性地质填图的目的。

混杂岩填图和图面表达核心理念是物质组成与结构变形调查与表述并举, 应对所有的地质实体按照岩性进行划分和详细填绘, 形成地质图面结构相对客观稳定、不随认识 and 解释而变化的岩性—构造图(图 2)。混杂岩的图面表达实际上就是对混杂岩的物质组成和结构构造信息以及形成构造环境、就位过程认识的客观与主观的有机体现。地质图中的代号要简单(图 2), 且基本不表示构造属性。在地质图绘制过程中, 采用时代、岩性叠加构造(面理和线理)符号表示不同块体。

根据地质图比例尺, 应在地质图上尽可能地表达混杂岩中各类地质体信息; 对于部分无法按照地质图比例尺进行表达但意义重大的地质体, 可做适当夸大。此外, 如果小规模岩块不能直接在地质图中表述出来, 可用小黑点替代并标上其岩性名称, 在图例中对其进行分类和组合的解读。对于岩浆岩, 根据不同粒度大小、颜色和变质—变形特征, 野外必须将它们区分开来, 单独标示在图中, 待室内对其地球化学特征和年代学测试分析之后, 再判断是否可以合并。

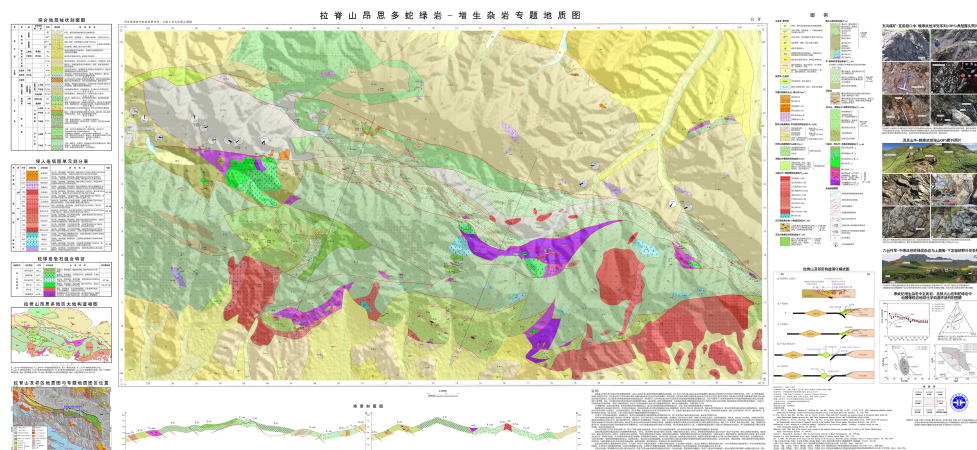


图2 拉脊山昂思多蛇绿岩—增生杂岩专题地质图示意图

4.2 混杂岩物质组成表述

混杂岩(带)既包括了俯冲—碰撞过程中增生、拼贴到大陆边缘的洋内物质,也可能包含构造卷入的相邻岩石地层单元。对于后者,尽管可能保留有完好的地层结构序列,但由于其也是混杂岩块体的组成部分,因此,在地质图面表达时仍按照块体对待,而不能将其单独按照地层单元来处理。

岩块和基质是混杂岩地质填图的基本单位,也是混杂岩地质图重点表述的对象。为了地质图面的简单清晰,建议采用颜色叠加岩性英文名称首字母或颜色叠加岩性花纹来表达不同块体(图2),能区分出时代的块体可在图面上直接增加时代符号来与颜色共同表述。

4.3 混杂岩构造表述

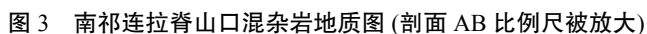
不同构造的空间关系、截切序次关系、运动学指向是混杂岩地质图详细表述的另一项关键内容。

地质图面上,块体与基质用韧性或脆性断层分隔;块体间强变形基质用短线稀疏和弯曲来分别表示片理密集和形态;不同性质的面理可用不同符号表达,相同符号的空间展布可以表述面理空间展布;线理可用箭头来表述,箭头方向和长度可以用来表示构造运动方向和大小(图3);同一期构造样式、运动方向和空间组合用同一种线色表示;构造级别可用线条粗细来表达。

基质可采用灰度低的颜色叠加岩性(组合)英文名称首字母表示,以区别于岩块表达方式。关于块体时代、属性,根据野外调查和室内测试分析结果,在图例中详细表述,从而保持地质图主图图面表达合理和清晰,符合地质实体填绘原则;同时,在地质图主图外,配置野外典型露头照片、室内显微照片、测试结果图表和简短文字说明,阐述填图区内混杂岩物质及其组合特征、构造期次和构造样式以及构造属性(图2)。

4.4 图例表述

图例包括各种岩性—构造要素类型和综合解释两部分。类型相同(近)或成因相关的岩石组合可归为一类,将侵入岩表示为“岩性+时代”,将沉积岩或变质岩石组合表达为“时代+岩石组合”。综合解释采用地质代号借鉴国标,并结合构造属性,反映混杂岩块体初始时空结构,每类岩性符号旁侧注明相对应岩性结构特征描述。



拉脊山昂思多蛇绿岩-增生杂岩专题地质图数据库包含主图和其他辅图。主图内容包括蛇绿混杂岩、火山岩、沉积岩、侵入岩、地质界线、断层、填图单位以及产状等。辅图内容包括地层综合柱状图、侵入岩填图单元划分表、蛇绿岩岩石组合特征、大地构造相图、拉脊山及邻区地质图与填图区位置、图切剖面、说明、图例、责任签栏、大地构造演化模式图、OPS 和蛇绿岩典型野外照片以及地球化学判别图。数据类型包括点实体、面实体和线实体,其中点实体包括各类地质体填图单位、产状、花纹等;面实体包括火山岩、沉积岩、侵入岩;线实体包括地质界线、断裂、岩相界线等。

火山岩数据属性主要有:年代地层单位、岩石地层单位、地层时代、地层分区、岩性组合、火山岩成因类型和同位素年龄。

侵入岩数据属性主要有: 岩性组合、岩石结构、岩石构造、岩体产状、平面形态、接触带特征、构造属性和同位素年龄。

断裂属性主要有:断层名称、断层类型、断层编号、断层性质、断层上下盘地质体代号、断层走向、断层倾向和断层面倾角。

地质点实体属性主要有:要素标识号、产状类型名称代码、产状类型名称、走向、倾向和倾角。

地质填图按照《混杂岩地质调查与填图方法》开展,坚持“以块体和基质作为混杂岩地质调查和地质填图的基本单位”和“物质组成与结构构造并重”的基本填图理念来对拉脊山昂思多蛇绿岩—增生杂岩开展了物质组成与接触关系调查、结构变形、变质作用、形成和就位时代以及成矿作用等方面的调查工作。拉脊山昂思多蛇绿岩—增生杂岩专题地质填图中关键地质体的岩石组成、形成时代、构造变形特征、接触关系等均为本

研究野外地质填图和室内综合研究所获得的。

本数据库严格按照中国地质调查局《地质调查项目管理办法》(中地调发〔2011〕18号)相关要求,执行项目自检和互检、项目专检、项目质量抽查“三级质量检查制度”,其中填图路线自检、互检率达100%,项目组抽检40%,部门抽检率不小于15%。总体质量符合地质调查管理要求。样品测试分析均在具有相关资质的实验室进行,分析过程和分析质量符合要求。

6 数据价值

拉脊山昂思多蛇绿岩—增生杂岩专题地质图是中国地质调查局开展新一轮区域地质调查工作的示范图幅。本次工作以专题地质填图为基础工作手段,识别并重建了南祁连早古生代大洋板块地层序列,恢复了南祁连原特提斯洋演化过程中的海沟—岛弧体系,建立了南祁连构造演化模型,总结了地质填图方法和经验,支撑服务地调科研融合与地质调查转型升级,推动并提升了中国学者在原特提斯构造域地质研究国际地位。

(1) 根据结构、组成和成因类型,在昂思多地区识别出蛇绿混杂岩、增生杂岩和构造混杂岩3种类型混杂岩,丰富了拉脊山地区地质填图单元与调查内容。

蛇绿混杂岩主要出露于图区西沟、东沟和药水泉地区,具体表现为透入性片理发育的蛇纹岩裹夹方辉橄岩、蛇纹岩、辉石岩、斜长角闪岩、枕状玄武岩等块体组合;增生杂岩表现为海山 OPS 和正常 OPS 等组合,出露于图区中部东沟煤矿—克前垭口、六台水库和顶帽山、泥旦山等地。构造混杂岩仅分布于图区南部尔尕昂一带,由强烈片理化基性火山岩与蛇纹岩、辉长岩、辉绿岩块体共同组成,露头上以普遍发育“网节状”构造为特征,是剪切构造作用所致。它们的识别,丰富了拉脊山混杂岩专题地质调查的内容和填图单元。

(2) 建立了拉脊山地区蛇绿岩、蛇绿混杂岩、增生杂岩和构造混杂岩地质填图单元和图面表述方式,利于读者快速了解区内混杂岩结构、组成及时空配置关系。

图区内蛇绿岩总体仍保留了蛇绿岩“彭罗斯型”地层序列,但不同岩石单元之间多为断层接触。在顶帽山、泥旦山和六台水库,普遍可见由枕状玄武岩、玄武质角砾熔岩、凝灰岩、硅质岩、页岩/泥岩、生物灰岩共同构成的相对完整的岩石组合序列,属于海山 OPS 序列。生物灰岩中含有晚寒武世三叶虫化石。因此,以岩性单元作为基本填图单元可以直接揭示蛇绿岩和海山的组成与空间关系;蛇绿混杂岩在图区内以发育透入性片理的蛇纹岩裹夹蛇绿岩不同岩性单元块体为特征;增生杂岩在图区内由海山 OPS 和正常 OPS 共同组成;构造混杂岩在填图区内表现为烈片理化基性岩与基性—超基性岩块组合,露头上以“网节状”构造为标志特征。因此,蛇绿混杂岩、增生杂岩、构造混杂岩坚持以岩块和基质分别作为填图单元,并以岩性叠加构造变形在图面上分别表述,同时利用颜色差异区分三者,以便能够直接在地质图上反映出不同类型混杂岩的组成,利于读者能够快速了解区内混杂岩结构、组成及时空配置关系。

(3) 识别并重建了拉脊山寒武纪 OPS 序列,划分了拉脊山地区大地构造相,探讨了早古生代板块构造格局,为中央造山带演化与原特提斯洋重建提供了基本依据。

拉脊山寒武纪 OPS 由寒武纪海山和深海 OPS 两部分组成。空间上,海山 OPS 主要出露于图区六台水库、顶帽山和泥旦山地区;垂向上,野外露头表现为枕状玄武岩与灰岩“盖层”组合序列,侧向上表现为角砾熔岩、角砾状灰岩、凝灰岩组合向页岩、硅质岩、硅质泥岩组合过渡特征,呈现出斜坡碎屑流向半深海、深海相浊流沉积过渡特征。

深海 OPS 是拉脊山增生杂岩主体组成部分,由枕状玄武岩、放射虫硅质岩、硅质泥岩和页岩组成;露头上表现为“总体无序、局部有序”的结构特征,尖棱褶皱、紧闭褶皱和双冲构造在局部地段发育。在图区中部,普遍出露一套强烈剪切变形的页岩、硅质泥岩基质裹夹规模大小不等(1 cm~20 m)的硅质岩、枕状玄武岩、灰岩透镜体组合,与图区东沟煤矿一带的海沟 OPS 凝灰质浊积岩、灰绿色硅质岩、泥岩组合之间呈断层接触。它们总体呈现出自南向北由深海向半深海环境逐渐过渡的沉积组合特征。这些事实表明,寒武纪时期,拉脊山地区存在有海山及相关深海沉积,该洋盆 OPS 由南向北依次表现为海山 OPS、深海沉积 OPS、海沟 OPS 组合,总体指示自北向南的俯冲极性。

拉脊山昂思多地区大地构造相单元可分为:①六道沟、西沟早—中寒武纪蛇绿岩;②青沙山寒武纪岛弧;③东沟煤矿—克前垭口、泥旦山—顶帽山中—晚寒武世增生杂岩;④尔尕昂晚寒武世构造混杂岩;⑤泥旦山晚寒武世弧前盆地;⑥马阴山中—晚奥陶世岩浆弧;⑦阿伊山晚奥陶世火山弧;⑧顶帽山中奥陶世弧前盆地;⑨阿伊山晚奥陶世—早志留世前陆盆地;⑩志留纪碰撞后火山—侵入岩。

早古生代时期,原特提斯洋发生俯冲—增生造山作用,形成了拉脊山地区 3 期不同的构造岩浆事件:①寒武纪时期,原特提斯洋向南俯冲,形成了六道沟和西沟蛇绿岩、青沙山岛弧以及东沟煤矿—克前垭口增生杂岩,同时形成了泥旦山弧前盆地;②早—中奥陶世时期,原特提斯洋向北俯冲,在寒武纪岛弧和增生杂岩之上发育早—中奥陶世岛弧火山岩和岩浆岩,构成大陆边缘弧;③晚奥陶世晚期—早志留世时期,原特提斯洋俯冲作用结束,发生弧—陆碰撞,形成了大面积分布于图区北部和图区外围西侧相邻区域的河流—三角洲相沉积以及少量酸性火山岩和花岗岩。

(4) 混杂岩填图成果得到国内外同行认可,拉脊山昂思多蛇绿混杂岩专题地质图获中国地质调查局优秀图幅奖,填图成果丰富,在国内外一流期刊《Tectonics》(Fu Changlei et al., 2018; Yan Zhen et al., 2019),《The Journal of Geology》(Fu Changlei et al., 2019)、《岩石学报》(付长奎等, 2018)、《地质通报》(闫臻等, 2018; 付长奎等, 2021)以及《地质科学》(闫臻等, 2021)上发表。填图方法总结出版(闫臻等, 2020)。显示了我国较高的混杂岩填图水平,支撑服务地调科研融合与地质调查转型升级。

(5) 创新地质调查填图工作方法,在全面了解填图区区域地质特征、熟悉混杂岩基本特征和成因现状以及存在问题的基础上,通过多学科、多专业高水平人员进行分工协作共同完成,摒弃机械地按网度布设,填图路线灵活掌握,地质现象引导路线,全面刻画构造、侵位或沉积接触等关系,是中国地质调查局开展新一轮区域地质调查工作的示范图幅,为造山带复杂构造区地质调查和填图提供参考。

7 结论

(1) 拉脊山昂思多蛇绿岩—增生杂岩 1:25 000 专题地质图是中国地质调查局开展新一轮区域地质调查工作的示范图幅。专题地质填图揭示了拉脊山混杂岩结构组成特征,总结混杂岩地质填图方法和经验,丰富了古洋盆演化研究内容和研究方法,为造山带复杂构造区地质调查和填图提供参考。

(2) 专题地质填图与大地构造相研究相结合,识别并重建了拉脊山大洋板块地层序列,恢复了海沟—弧前—岛弧体系,建立了原特提斯洋演化历史,为重新认识拉脊山混杂岩带构造格架以及原特提斯洋盆演化提供了直接地质资料。

致谢:本专题地质填图依托“关键地质问题综合调查工程”,特别感谢王涛研究员、张进研究员、张泽明研究员的支持和帮助!项目研究过程中得到李继亮研究员、潘

桂棠研究员、肖庆辉研究员、陈隽璐研究员、校培喜研究员、邓晋福教授、Jonathan C. Aitchison 教授、Soloman Buckmon 博士以及 John Wakabayashi 教授等国内外专家和学者的大力支持和指导, 在此一并表示衷心感谢!

参考文献

- Festa Andrea, Pini Gian Andrea, Dilek Yildirim, Codegone Giulia. 2010. Mélanges and mélange-forming processes: a historical overview and new concepts[J]. *International Geology Review*, 52(10–12): 1040–1105.
- Fu Changlei, Yan Zhen, Wang Zongqi, Buckman Solomon, Jonathan C. Aitchison, Niu Manlan, Cao Bo, Guo Xianqing, Li Xiucui, Li Yunshuai, Li Jiliang. 2018. Lajishankou Ophiolite Complex: Implications for Paleozoic Multiple Accretionary and Collisional Events in the South Qilian Belt[J]. *Tectonics*, 37(5): 1321–1346.
- Fu Changlei, Yan Zhen, Jonathan C. Aitchison, Xiao Wenjiao, Buckman Solomon, Wang Bingzhang, Li Wufu, Li Yunshuai, Ren Haidong. 2020. Multiple subduction processes of the Proto-Tethyan Ocean: Implication from Cambrian intrusions along the North Qilian suture zone[J]. *Gondwana Research*, 87: 207–223.
- Fu Changlei, Yan Zhen, Jonathan C. Aitchison, Guo Xianqing, Xia Wenjing. 2019. Abyssal and Suprasubduction Peridotites in the Lajishan Ophiolite Belt: Implication for Initial Subduction of the Proto-Tethyan Ocean[J]. *The Journal of Geology*, 127(4): 393–410.
- Hsü K Jinghua. 1968. Principles of mélanges and their bearing on the Franciscan-Knoxville paradox[J]. *Geological Society of America Bulletin*, 79(8): 1063–1074.
- Pang Guitang, Wang Liquan, Li Rongshe, Yuan Sihua, Ji Wenhua, Yin Fuguang, Zhang Wanping, Wang Baodi. 2012. Tectonic subdivision of the Qinghai-Tibetan Plateau[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 53: 3–14.
- Raymond Loren. 1984. Classification of mélanges[J]. *Geological Society of America Special Paper*, 198: 7–20.
- Şengör AMC, Natalin BA. 1996. Turke-type orogeny and its role in the making of the continental crust[J]. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 24: 263–337.
- Silver EA, Beutner EC. 1980. Melanges[J]. *Geology*, 8(1): 32–34.
- Song Shuguang, Yang Liming, Zhang Yuqi, Niu Yaoling, Wang Chao, Su Li, Gao Yanlin. 2017. Qi-Qin Accretionary Belt in Central China Orogen: accretion by trench jam of oceanic plateau and formation of intra-oceanic arc in the Early Paleozoic Qin-Qi-Kun Ocean[J]. *Science Bulletin*, 62(15): 1035–1038.
- Xia Linqi, Li Xiangmin, Yu Jiyan, Wang Guoqiang. 2016. Mid-late Neoproterozoic to early paleozoic volcanism and tectonic evolution of the Qilianshan, NW China[J]. *GeoResJ*, 9–12: 1–41.
- Xiao Wenjiao, Windley Brian F, Yong Yong, Yan Zhen, Yuan Chao, Liu Chuankou, Li Jiliang. 2009. Early Paleozoic to Devonian multiple-accretionary model for the Qilian Shan, NW China[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 35(3–4): 323–333.
- Yan Zhen, Fu Changlei, Aitchison Jonathan C, Buckman Solomon, Niu Manlan, Cao Bo, Sun Yi, Guo Xianqing, Wang Zongqi, Zhou Renjie. 2019. Retro-foreland Basin Development in Response to Proto - Tethyan Ocean Closure, NE Tibet Plateau[J]. *Tectonics*, 38(12): 4229–4248.

- Yan Zhen, Aitchison Jonathan, Fu Changlei, Guo Xianqing, Niu Manlan, Xia Wenjing, Li Jiliang. 2015. Hualong Complex, South Qilian terrane: U–Pb and Lu–Hf constraints on Neoproterozoic micro–continental fragments accreted to the northern Proto–Tethyan margin[J]. *Precambrian Research*, 266: 65–85.
- Yan Zhen, Xiao Wenjiao, Aitchison Jonathan, Yuan Chao, Liu Chuanzhou, Fu Changlei. 2021. Age and origin of accreted ocean plate stratigraphy in the North Qilian belt, NE Tibet Plateau: Evidences from microfossils and geochemistry of cherts and siltstones[J]. *Journal of the Geological Society*.
- Zhang Jianxin, Yu Shengyao, Mattinson CG. 2017. Early Paleozoic polyphase metamorphism in northern Tibet, China[J]. *Gondwana Research*, 41: 267–289.
- 付长垒, 闫臻, 王秉璋, 牛漫兰. 2021. 造山带中古海山残片的识别—以拉脊山缝合带青沙山和东沟地质填图为例 [J]. *地质通报*, 40(1): 31–40.
- 付长垒, 闫臻, 王宗起, 牛漫兰, 郭现轻, 俞良军, 李继亮. 2018. 南祁连拉脊山口增生楔的结构与组成特征 [J]. *岩石学报*, 34(7): 2049–2064.
- 李继亮. 1992. 碰撞造山带大地构造相 [C]. 南京: 南京大学出版社, 9–21.
- 李荣社, 计文化, 辜平阳. 2016. 造山带 (蛇绿) 构造混杂岩带填图方法 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1–128.
- 潘桂棠, 肖庆辉, 陆松年, 邓晋福, 冯益民, 张克信, 张智勇, 王方国, 邢光福, 郝国杰, 冯艳芳. 2008. 大地构造相的定义、划分、特征及其鉴别标志 [J]. *地质通报*, 27(10): 1613–1637.
- 邱家骧, 曾广策, 王思源, 朱云海. 1997. 拉脊山早古生代海相火山岩与成矿 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1–118.
- 王二七, 张旗, Clark B. Burchfiel 2000. 青海拉鸡山: 一个多阶段抬升的构造窗 [J]. *地质科学*, 35(4): 493–500.
- 许志琴, 徐惠芬, 张建新, 李海兵, 朱志直, 曲景川, 陈代璋, 陈金禄, 杨开春. 1994. 北祁连走廊南山加里东俯冲杂岩增生地体及其动力学 [J]. *地质学报*, 68(1): 1–15.
- 闫臻, 李继亮, 雍拥, 肖文交, 王宗起, 向永生. 2008. 北祁连石灰沟奥陶纪碳酸盐岩–硅质岩形成的构造环境 [J]. *岩石学报*, 24(10): 2384–2394.
- 闫臻, 王宗起, 李继亮, 许志琴, 邓晋福. 2012. 西秦岭楔的构造属性及其增生造山过程 [J]. *岩石学报*, 28(06): 1808–1828.
- 闫臻, 王宗起, 付长垒, 牛漫兰, 计文化, 李荣社, 祁生胜, 毛晓长. 2018. 混杂岩基本特征与专题地质填图 [J]. *地质通报*, 37(2/3): 167–191.
- 闫臻, 付长垒, 张继恩, 牛漫兰, 祁生胜, 曹泊, 孙毅, 李秀财, 刘建峰. 2020. 混杂岩地质调查与填图方法 [M]. 北京: 地质出版社, 1–79.
- 闫臻, 付长垒, 牛漫兰, 张继恩, 肖文交, 王宗起. 2021. 大陆造山带中增生楔识别与地质意义 [J]. *地质科学*, 56(2): 430–448.
- 张建新, 许志琴, 徐惠芬, 李海兵. 1998. 北祁连加里东期俯冲增生楔结构及动力学 [J]. *地质科学*, 33(3): 290–299.
- 张克信, 殷鸿福, 朱云海, 王国灿, 陈能松, 侯光久. 2001. 造山带混杂岩区地质填图理论、方法与实践: 以东昆仑造山带为例 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1–165.
- 张雪亭, 杨生德. 2007. 青海省板块构造研究 1/100 万青海省大地构造说明书 [M]. 北京: 地质出版社, 1–221.
- 左国朝, 李志林. 2001. 拉鸡山裂谷带特征及演化 [J]. *甘肃地质学报*, 10(1): 26–31.