

侵入岩填图方法体系及专题研究

王涛¹, 童英¹, 郭磊¹, 张建军¹, 苏尚国², 焦建刚³, 王连训⁴
WANG Tao¹, TONG Ying¹, GUO Lei¹, ZHANG Jianjun¹, SU Shangguo²,
JIAO Jiangang³, WANG Lianxun⁴

1. 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037;

2. 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京 100083;

3. 长安大学地球科学与资源学院, 陕西 西安 710054;

4. 中国地质大学(武汉)地球科学学院, 湖北 武汉 430074

1. *Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;*

2. *School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China;*

3. *School of Earth Science and Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China;*

4. *School of Earth Science, China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China*

摘要: 中国侵入岩填图经历了不同发展阶段。目前,需要探索中大比例尺(1:5万~1:2.5万)填图方法。依据以往的填图实践经验,特别是同源花岗岩、异源花岗岩、中基性岩、超基性岩试点填图,提出侵入岩填图方法体系。无论何种成因,侵入岩填图应该建立不同级别的等级体制填图单位,即侵入体-单元-序列(或岩套)-超序列(或超岩套)-超序列组合(或超岩套组合),分别对应岩体-岩基-岩带-巨型岩带。同源花岗岩岩浆,可以按照以往的谱系单位填图,其侵入体-单元-序列-超序列应该是同一个岩浆旋回演化的产物。岩浆混合花岗岩,可以按照混合程度划分单元,归并序列。中基性-超基性侵入岩,也可以参考上述谱系单位和混合单位填图。侵入岩不同级别等级体制单位的建立有利于深入认识岩浆系统及其制约因素。此外,花岗岩等侵入岩蕴含了丰富的地球动力学信息,有必要开展深入的专题研究。

关键词: 中酸性花岗岩体;中性-基性-超基性岩体;等级体制单位;岩浆系统;构造意义

中图分类号: P623; P588.12 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-2552(2017)11-1953-10

Wang T, Tong Y, Guo L, Zhang J J, Su S G, Jiao J G, Wang L X. Methodology and thematic studies of geological mapping of intrusions. *Geological Bulletin of China*, 2017, 36(11):1953-1962

Abstract: Geological mapping of intrusions in China has experienced different stages. Now, researchers should explore methods for medium-large scale mapping (1:50000~1:25000). Based on previous mapping experience, especially that obtained from the pilot mapping of cogenetic granitoids, magmatic mixing granitoid, and intermediate-mafic and ultramafic intrusions, this paper presents mapping methodology of intrusive rocks. No matter what kinds of petrogenesis they are, mapping of intrusions should establish different grades of mapping units, such as intrusive body-unit-suite-supersuite-supersuite association, probably responding to pluton-batholith-magmatic belt-huge magmatic belt respectively. Previously, pedigree unit mapping method was widely applied in cogenetic granites. These intrusive body-unit-suite-supersuite result from evolution of one magmatic cycle. Mixing or mingling granitoid pluton can be divided into units by different mixing degrees and merging suites. Mapping of intermediate mafic-ultramafic rocks can also refer to the methods introduced above. The establishment of mapping units according to different grades of intrusive rocks are helpful to understanding the magma system and its constraints. Furthermore, intrusive rocks such as granitoids contain abundant geodynamic information, and hence it is necessary to launch thematic mapping and research.

收稿日期:2017-05-10;修订日期:2017-09-12

资助项目:中国地质调查局项目《显生宙重大岩浆事件调查与岩浆岩试点填图》(编号:DD20160123)

作者简介:王涛(1959-),男,博士,研究员,从事花岗岩与大地构造研究。E-mail:taowang@cags.ac.cn

Key words: intermediate-acidic granitic pluton; intermediate-mafic-ultramafic pluton; grading system unit; magma system; tectonic implication

花岗岩是地球有别于其他星球的最主要标志之一。花岗岩占据大陆地壳特别是造山带绝大多数的面积,因此,以花岗岩为代表的侵入岩是地球科学特别是大陆地质研究的重要对象和内容,也是基础地质调查和填图的主要内容。如何填好侵入岩地质图是研究大陆地质的基础,也是衡量地质图质量和水平高低的重要指标。

中国正在开展1:5万区域地质填图,即将开展1:2.5万区域地质填图。目前,急需解决的一个问题是,花岗岩等侵入岩用什么方法填图? 20世纪80—90年代推广、普及了单元-超单元填图方法。但是,在之后的新一轮1:25万和1:5万填图中,不再要求采用单元-超单元方法填图,而是回归岩性+时代方法。至今,这种岩性+时代方法是否有欠缺,是否需要改进,单元-超单元填图方法是否可以继续应用,什么条件下可以应用,什么条件下不能应用,不用的情况下,是仅仅采用简单的岩性+时代,还是需要探索其他方法? 这些问题一直没有明确的答案,长期困扰一线填图人员。另外,以往仅有花岗岩1:5万填图指南^[1],中基性岩、超基性岩如何填图? 还没有明确的填图方法指南。

本文依据以往的填图实践经验和新开展的填图试点,初步探讨建立新的花岗岩填图方法,并拓展到中基性、超基性岩,试图构建侵入岩填图方法体系,为今后的侵入岩地区中大比例尺填图提供思路和参考方法。

1 侵入岩填图现状与问题

国外侵入岩填图多采用灵活的方法。有些1:5万填图中,花岗岩等侵入岩表达很简单,基础要素就是时代+岩性,侵入岩图面表达符号也有多种方式,有的用极简单的代号,也有体现研究程度较高的单元-超单元或单元-岩套(序列)的方法。

中国花岗岩等侵入岩填图经历了不同阶段的发展。20世纪50—70年代,与其他填图方法一样,侵入岩填图基本学习前苏联模式,填图基本特点是强调岩浆侵入顺序,以期次划分为基础的岩性填图。在1:20万填图过程中,采用时代(1、2、3...)+岩性(岩相)的表达方式,填图单位以岩性-岩相表达,不同岩相,特别是从外部到中部,按照分异结晶理

论,划分并表达为边缘相、过渡相、内部相,图面主要反映岩石类型和相带分布特征。这应该是一种客观实体的表达,但是,采用岩相带的术语又暗示了一种成因解释,即将岩体视为一次岩浆活动侵入的产物,内部岩性变化可能是岩浆逐渐冷却形成的不同分异结晶的产物。由于历史条件所限,缺少年龄数据,所以,时代大都笼统地表达为“代”,常用构造演化期次描述,如加里东期、海西期等。这体现了当时历史条件下的填图现状,成为中国第一代填图,为中国基础地质调查特别是侵入岩调查奠定了基础。

20世纪80—90年代,中国开始了大规模的1:5万地质填图,亟待新的填图方法。为此,当时的地质矿产部直管局组织专家,开展了填图研究,并与英国地质调查局合作,引入了花岗岩谱系填图模式,即单元-超单元填图方案^[2-4]。这种方法主要参考沉积岩群、组、段不同级别的单位划分理念,对花岗岩岩体也采用不同等级的填图单位(超单元组合-超单元-单元(侵入体),其理论基础是同源岩浆演化理论。高秉章等在研究程度较高的华南S型花岗岩类填图中开展了试点工作,在此基础上,出版《花岗岩类区1:5万区域地质填图方法指南》^[1],并迅速推广。当时,所有1:5万填图都必须采用单元-超单元填图方法。应当肯定,该方法的推广应用,极大地提高了中国花岗岩填图的质量和水平,特别注重各侵入体间的相互关系和识别标志,解体了一大批花岗岩体,建立了岩浆不同期次侵位的概念和不同级别的等级体制填图单位,将杂乱无章的岩体,按照相同原则归并为一个单元,并按照成因演化的相关性,建立超单元,这从更高层面接近客观事实。然而,在大力推广过程中,也产生了一些问题,包括:①很多填图地区研究程度不够,缺乏年龄、同位素等资料,归并为同一个单元或超单元的依据不充分,实际应用中存在扩大化现象;②单元要求正式命名,但是,一些单元具有局限性,又缺乏地名,造成一大批新的命名,使用很不方便,导致一些真正常用的岩体名称(超单元或序列)废弃;③采用谱系单位填图,也试图与地层一样,开展区域侵入岩单位对比,建立一个地区的岩浆演化理论。但实际上,岩体变化极大,加之命名不统一,区域对比难度

大;④更突出的问题是,花岗岩谱系单位填图方法主要基于同源岩浆演化理论,而岩浆成因复杂,是否适用谱系单位填图存有疑义^[5-6]。实际上,许多岩浆作用为开放体系多元作用的结果,还存在岩浆混合、同化混染等^[7]。尽管这些方面没有开展填图,但是,从理论上,该方法可能不适用于异源岩浆(如混合岩浆)。

20世纪90年代至今,中国开始了大规模的1:25万填图和1:5万地质填图。由于单元-超单元填图方法存在上述问题,因此,在新一轮的填图中,花岗岩填图不再要求采用单元-超单元方法填图,而是回归到岩性+时代的方法。这类方法的优点是简单,强调和表达了野外观察的客观实体;不足的是,它还停留在最基础的直观的观察,表达的是最基本和第一层面的客观实体,没有揭示和表达更高层面的客观实体和现象,难以反映客观规律。

地质填图的初衷是提高地质认知。随着研究的深入,有必要揭示出更高层面的客观实体,这也需要在图面上进行表达,反映了地质填图认知水平的不断提升。因此,侵入岩等所有地质体填图,都要与时俱进,不断完善和提高。不仅要表达最基本的观察实体,揭示更高层面的客观实体,而且要尽可能地揭示客观规律,不断提高填图的质量,达到不断提高认知的最终目的,而不是仅满足于工作量的完成和肉眼层面的观察。

2 不同类型侵入岩填图试点及有关方法探索

侵入岩等岩浆岩都是不同类型和成因岩浆演化及定位的产物。它们可能是同源岩浆演化的产物,也可能是异源岩浆混合的产物,以及岩浆在上升过程中不同深度与围岩发生的混合产物,常具有复杂的演化过程,形成一系列不同成分、不同结构构造的岩浆岩。从成分看,有酸性的,也有中性、基性、超基性的。因此,探索不同类型岩浆岩的填图方法十分重要。在中国已有填图实践的基础上^{①②},部署和选择可能的同源岩浆和混合成因的花岗岩区,开展了本次填图试点。此外,还部署了基性岩和超基性岩的填图试点。依据这些实践,初步构建侵入岩填图方法体系。

2.1 同源花岗岩填图

这是以往花岗岩填图的基础。在20世纪80—90年代,中国引用和推广了西方发达国家以同源岩

浆演化理论为基础的谱系单位填图方法,即单元-超单元方法,将同源岩浆演化形成的具有相同特征及同时就位,但位置不同的岩石单位称为侵入体,它是最低级别的岩石单位。多个相同时代、成分和结构的侵入体可归并为一个单元。同源岩浆演化分异的成分不同、多次脉动侵入就位形成的单元合并为一个超单元。因此超单元代表了同源岩浆演化过程中不同演化程度产物的集合体。

20世纪80—90年代,按照《花岗岩类区1:5万区域地质填图方法指南》要求^[1],几乎所有的花岗岩填图都采用了单元-超单元的谱系单位填图,不少图幅取得了很好的效果。但是,也出现了很多问题(见前),以致后来的1:25万填图不再采用该方法,而是用简单的岩性+时代填图。

本次在内蒙古的花岗岩试点,按照谱系单位的方法开展了填图,将原来认为的一个石炭纪岩体,解体出晚侏罗世巴音敖包(含斑)中粗-中粒二长花岗岩(或花岗闪长岩)序列($J_3B\eta\gamma$)和早白垩世石林-中粒二长花岗岩序列($K_1S\eta\gamma$)。其中,巴音敖包序列由2个单元组成:中粗粒含角闪石黑云母二长花岗岩和中粒含角闪石黑云母二长花岗岩,由于其侵入先后顺序不清楚,故命名为a、b单元,即 $J_3B_{mc}\eta\gamma$ 、 $J_3B_{lm}\eta\gamma$;石林序列由3个单元组成,分别为中粒、中细粒、细粒黑云母二长花岗岩单元,先后侵入关系清楚,故命名为1、2、3单元,即 $K_1S_{1m}\eta\gamma$ 、 $K_1S_{2mf}\eta\gamma$ 和 $K_1S_{3f}\eta\gamma$ 。实际上,这种命名方法在之前的1:5万填图中也用过,如红柳河幅、芦苇井幅1:5万联测^①。通过该试点填图,再次表明,对于同源岩浆,谱系单位填图是可行的。而且,随着研究手段的提高和研究程度的提升,该方法更有使用的基础。

2.2 异源花岗岩填图

相对于上述同源岩浆,自然界中,不少岩浆来源复杂,可能经历了同化混染和不同成因的岩浆混合作用^[7],导致不是简单的单一的封闭体系下的岩浆演化,而是具有复杂开放体系的演变。这类异源花岗岩也许可以分为混源、混染和岩浆混合花岗岩3类。混源花岗岩指源区物质混合熔融形成的花岗岩,实质上已经是单一的岩浆(即有混源固态物质转化为单一的岩浆流体),很难按照岩浆混合的思路填图,应该按照单一岩浆演化为基础的谱系单位填图。混染花岗岩指岩浆在上升过程中同化围岩,

这也很难按照混合花岗岩思路填图,因为若与上述过程中的深部岩石混染,混染的岩石没有出露;若与定位层次的围岩混染,也可能是局部现象,可以采用叠加花纹作为独立的非正式填图单位表达。而野外大量见到的混合花岗岩多是岩浆混合花岗岩(或浆混花岗岩)。

混合花岗岩,有不同术语表达^[7]。从英文看,主要还是 hybrid、mixing 和 mingling,其中 hybrid 和 mixing 指 2 种或多种岩浆相互(化学)混合。野外观察到的岩浆混合通常是 mingling,是机械混合,杂状、相互交织的浅色酸性岩石与暗色的基性岩,或大量大小不一的暗色微粒包体等。能开展混合花岗岩填图的大都是上述岩浆混合花岗岩。

混合花岗岩填图单位的划分,前人已经做过探索^[8-9]。本次填图试点也进一步进行了探索^[10](如本专辑)。无论名称如何,基本填图单位划分和归并思路一致,可以归纳为以下填图单位体系。

(1) 单元(unit)

首先,混合花岗岩可以按照混合程度划分单元,即不同混合程度的岩石单元。这些混合程度可以在野外直接观察到,如作为混合指标之一的微粒包体的多少、大小和形态。本次试点填图,依据这些特征,划分出 3 个混合单元。此外,还应该注意的,很多混合程度更高的花岗岩难以直接用肉眼观察到,而在薄片尺度能观察到岩浆混合证据(如一系列不平衡结构和矿物组合)。这些岩石也是混合的结果,而且是更强烈混合的结果,因此,要注意作为混合单元填出。

其次,寻找和确定混合端元单元(或序列)。一般易于确定的是酸性(浅色)和基性(暗色)2 个端元,这是混合花岗岩填图和研究的重要内容,需要深入地研究加以确定。该试点填图,确定与上述混合单元密切共生的二长花岗岩和辉长岩分别为酸性和基性端元。这 2 个单元岩浆还可以进一步细分,有可能构成序列。应提及的是,在有些情况下,也可能发育 3 种端元的混合花岗岩。

另外,对于不能归并的侵入岩或其他成因不明的混合侵入岩,可以表达为独立的非正式填图单位。

(2) 序列(Sequence)或岩套(Suite)或超单元(Super unit)

在基本单元确定的基础上,按照成因相似归并原则,将混合花岗岩的混合端元单元与混合端元组

合建立更高一级的填图单位,类似于超单元或序列或岩套。基本组成:酸性单元+混合单元(一系列不同程度的混合单元)+基性单元。如试点填图建立的序列。

实际上,该地区混合花岗岩有可能建立更高一级的填图单位,即由酸性端元构成的序列+混合单元构成的序列+基性端元构成的序列(+可能的其他混合单元岩套或单元)组成超序列。

2.3 中基性-基性岩填图

中基性侵入岩的规模有限,但岩石组合复杂,以往的小比例尺填图难以表达。本次中基性侵入岩试点填图选择河北武安地区铁矿集区的基性-中性杂岩,在 1:5 万填图基础上,进一步开展中大比例尺(1:2.5 万、1:1 万及 1:2000)填图,试图总结中大比例尺中基性侵入岩的填图方法。结果显示,该地区复杂的中基性侵入岩可以分为不同级别的填图单位。

(1) 单元

由相同岩性的侵入体组成,不同单元表现了不同类型的岩性和结构。特别指出的是,这些不同结构的岩性单元揭示了局部环境的差异,是复杂侵入岩浆具有的复杂局部环境下岩性变化的反映,如西石门地带的球状闪长岩、隐爆角砾岩等。

(2) 序列(或岩套)

由一系列年龄相同、有成因联系的单元组成。而且,这些单元在该地区多集中于同一个地带即群居产出,构成完整的一个序列(岩套),甚至有些序列几乎为一个侵入岩相系。如西石门岩套岩石单元呈现垂直通道、中心展布的组合特点。该地区归并了坦岭、西石门、赵庄和胡峪 4 个岩套。

(3) 超序列或超岩套

这 4 个岩套或序列虽然形态各异,但时代相同、产出大地构造部位相近,岩性组合基本也有相似之处,暗示它们形成于相同的构造背景,可以划归为更高一级的岩浆系统即超序列或超岩套。它们的源区和成因可能有别,如幔源岩浆、壳源岩浆、混源岩浆及混染岩浆,但是,时代相同、具有同一个构造岩浆演化的特点,可以组合为超序列或超岩套。

2.4 超基性岩填图

中国发育很多超基性岩体,很多归为蛇绿岩套的组成。但是,近年越来越多的研究显示,很多归为蛇绿岩套的超基性岩-基性岩实际上是独立的侵入

岩。不论是蛇绿岩套的超基性岩还是独立的侵入岩,在中大比例尺填图中如何填图?还没有很成熟、很详细的实例。目前,填图规范中还没有涉及。本次试点填图选在北山西南端著名的坡北超基性岩,试图探索建立基性-超基性侵入岩的中大比例尺填图方法。

经过大比例尺(1:2.5万)填图,目前,仅坡北基性-超基性岩体西部,至少可以划分为5个岩性单元,2个亚序列和一个序列^[1]。

(1)单元

即岩性单元。这5个单元规模很小。

(2)亚序列

这5个单元又可分别归纳为2个岩浆成因序列,对应两类岩浆矿床:含硫化物矿床(铜镍)(主要由橄榄岩相组成)和含氧化物矿床(磁铁矿、钛铁矿)的岩性单元(辉长岩、辉长苏长岩等)。但是,它们规模不大,又组合在一起,产在一个大的岩基中。若划分为2个岩套或序列,难以开展区域对比;加之,地名极少,难以正式命名,若建立正式的序列,失去了应有的区域对比意义;假如这2类系列岩石不分开,而归为一个序列,则又抹去了两者的差异。为此,笔者建议,可以参考地层中的群-亚群或组-亚组的概念,建立2个亚序列或亚岩套。对应2类岩浆成因及矿床,一个由以含硫化物矿床(铜镍)为特征的橄榄岩+辉石橄榄岩等单元组成;另一个由以含氧化物矿床(磁铁矿、钛铁矿)为特征的辉长岩+辉长苏长岩等单元组成。是否命名,依据产出大小和地名多少确定,本次填图不命名。

(3)序列

上述2个亚序列构成的岩套及坡北超基性杂岩体,应该命名,即坡北超基性序列。该序列直接表达了该超基性岩体的谱系单位特点。

值得提及的是,目前填图区还没有建立超序列。但今后,在更大的范围展开填图,有可能将区域上(甘肃北山地区)多个序列组合,构成更高级别的单位,表达北山巨型超基性侵入岩带。

3 侵入岩填图方法体系初步构建及基本要求

依据侵入岩与构造的关系、成分和结构特点、出露面积、成因特点和同源性,可以将其分为不同的等级,由大到小,依次为岩带(构造岩浆带)-岩段(岩石区)-深成侵入体三级体制。

少数国家采用谱系单位,如英国的岩基段-超单元-单元,美国的系列-组-侵入体及岩套-组-侵入体,北美地产指南的超岩套-岩套-岩簇。1993年,前苏联新的1:5万指南要求按照建造的理论划分不同等级。中国结合自身的特点,采用超单元组合-超单元-单元(表1)。

侵入岩填图和其他地质体填图一样,突出客观实体,并尽可能表达不同层次的地质客观现象,揭示规律,提高认知。填图内容力争丰富,既有填图单元,又有填图要素(如各类构造产状等)。最基本的是要合理划分填图单位,建立不同级别的填图单位体系,并在此基础上,开展深入的专题研究。

3.1 建立不同级别的填图单位并合理命名

总结中国填图经验,参考已有的试点填图,可以看出,侵入岩填图单元划分可以基本概括为以下单位。

(1)侵入体

相同年龄、相同岩性、相同结构和相同成因的一个侵入岩体,是中大比例尺填图中最基本、最小的岩石单元。由于研究程度不够,它们难以归类,则处理为侵入体,一般不命名,用非正式单元表达,即“粒度+岩性+时代”表达。但对于特殊意义的侵入体,可以考虑命名(典型地名+时代+粒度+岩性)。

(2)单元(Unit)

相同年龄、相同岩性、相同结构和相同成因的多个侵入体归并的一个基本单位。对于同源岩浆而言,实际上,就是同一个岩浆产物,是同一个地质体(岩体),地表看到的不同侵入体可以理解为同一个岩浆(甚至同一个侵入岩体在地表不同部位的出露)。对于异源花岗岩,例如岩浆混合花岗岩,依据一次混合的程度划分单元或非正式填图单位。

单元是谱系单位的基本单位,以往的单元-超单元填图方法要求单元要命名。但是,如上所述,单元命名有一定缺陷。故本次试点填图一般不要求单元命名,而是附属于命名的岩套或序列。若单元先后顺序可以确定,由老到新,可以命名为(地名)岩套一单元、二单元、三单元……(如石林序列一单元中细粒二长花岗岩单元)。若先后顺序不清楚,可以命名为a单元、b单元……(如,晚侏罗世巴彦敖包序列a单元和b单元)。单元的粒度和岩性可

表1 花岗岩等侵入岩填图单位的划分方案及与岩石地层单位的对应关系
(据参考文献[1]修改)

Table 1 Division programs of granite and other intrusive rock mapping units and their corresponding relationships with rock formation units

花岗岩等侵入岩不同级别填图单位							岩石地层单位		
本文	花岗岩指南 (1991) ^[1]	皮切尔、科宾(1972) (秘鲁海岸岩基)	贝特曼、道奇(1970) (内华达山脉岩基)	北美地层 指南(1983)	苏联1:5万区调 规范(1988)	可能对应 实体	可能对应 岩浆系统		
超序列 组合						巨型岩带	巨型岩浆 系统	超群	
超序列 (超岩套)	超单元 组合	岩基段		超岩套	侵入杂岩巨序列 (巨岩套)	岩带 (复式杂岩体)	岩浆系统	超群	
正式单元 (亚序列) (亚岩套)	超单元	超单元	序列	岩套	侵入杂岩序列 (岩套)	岩基 (复式岩体)	岩浆子系 统	群	
	单元	单元	组	岩簇 (或岩谱)	侵入组合群(杂岩组合) 侵入组合(系列)	岩体		组	
	侵入体		(侵入体)		侵入杂岩(体) 侵入体(群体)	岩体		段	
非正式 单位	侵入体	侵入体							
不具等级 意义单位	岩体-岩基- 岩浆杂岩	岩浆杂岩							

以放在之后,参与命名。如粗粒(c)、中粒(m)、细粒(f)(参考地质志岩浆岩编制指南),如石林序列一单元中细粒二长花岗岩单元 $K_2S_1mf\eta\gamma$ 。特殊的矿物需要参与岩性的命名,如富铝矿物(如堇青石、白云母、红柱石)、碱性矿物(如霞石)和有指示意义的矿物(如角闪石等)。

如果一个单元独立存在,且找不到可以归并的岩套,可以单独命名,成为独立的单元,命名原则与岩套相同,即时代+地名+粒度+岩性。

(3)序列(Sequence)(或岩套 Suite、或超单元 Super unit)

由2个以上年龄基本相同(尽管有先后关系)且具有成因联系的单元构成的高一级填图单位;这些单元聚集构成序列,对应一个大的复式岩基(狭义系列);也可以是不同分布地点的单元组合构成(即以往的超单元或广义的系列或岩套)。从谱系单位角度讲,序列相当于地层中的群。

从同源岩浆演化角度看,序列是在时间和空间上紧密联系,岩石类型、结构特征具有某些相似特

点,成分和结构上具有一定的成因联系、亲缘性和演化关系,为一次熔融事件即岩浆热事件的全部产物。因此,对于同源岩浆而言,序列中的单元,地球化学成分可以不一样,显示有一定的演变关系,但是,同位素特征一致(如Nd、Hf同位素一致)。应该提及的是,一般而言,按照同源岩浆演化理论,序列中的单元多具有从基性到酸性的演化趋势。但是,也有反向演变的情况。对于异源岩浆而言,如混合花岗岩,不同源区岩浆混合,单元之间的同位素组成可以不同。

序列(或岩套)一般应该命名,采用时代+地名,如 K_1S 晚白垩世石林岩套(序列)。一般序列都有可靠的年龄依据,所以,时代表达至少要到世。有些世的年龄区间较大,最好表达到期(如 K_1^1S)^[12]。

(4)超序列(Super Sequence)(或超岩套或超单元组合)

若干序列(或岩套或超单元)在一定空间范围内的组合,可能对应岩带。序列可以不是一次熔融事件的产物,但是,在一定程度上也有联系,即一次

构造岩浆热事件影响下的同一个熔融层或物源区的多次熔融岩浆的组合。归为超序列的序列具有基本相似的演化趋势,常组成一个构造岩浆旋回。序列的时间可以不同,但是,大致应该在一定的范围内(如5~50Ma)。超序列一般应该命名,由代表性地名+时代组成。

应该提及,混合端元可以是一个单元,也可能是一个序列,即酸性端元岩浆本身就可能是一个岩浆系列构成的序列;同样,基性端元岩浆也可能是一个序列。这样,构成的混合系列(不同混合程度单元构成)加上2个端元序列,酸性端元岩套+混合岩套+基性端元岩套(+可能的其他混合单元岩套或单元),构成超序列。

另外,岩浆混合程度可能受局部因素控制较大,开展区域对比的可能性较小。所以,仅依据混合单元构成的混合超单元,再开展区域归并难度极大。真正的超序列主要建立在有成因联系的同源岩浆为基础的序列或岩套或超单元组合的基础上。正如填图试点所揭示的,除混合单元外,区域上,应该存在酸性端元构建的酸性超单元、基性端元岩浆系统构建的基性岩套或超单元^[10]。能够开展区域对比的,可能只有端元岩套。

另外,混合花岗岩,还有可能是2个以上的混合端元序列(如壳源酸性岩浆系列和幔源基性岩浆系列),再加上混合而成的序列而组合构成超序列。例如,东昆仑岩浆混合花岗岩试点填图,可以考虑构建晚三叠世混合花岗岩超序列^[10]。

(5)超序列组合(Supersequence association)(超岩套Supersuite组合)

由上述2个以上的超序列组合的更高一级,可能对应巨型岩带。它们大概是一次巨型构造岩浆旋回形成的产物,包括同源岩浆系统的超序列组合或超岩套组合,也可包括混合花岗岩混合序列或三端元岩浆混合的超序列。

以往的单元-超单元填图方法,都是建立在同源岩浆演化的基础上,不可能划分出混合的超单元。而实际上,在区域及造山带尺度上,可能发育多个同时不同源区、不同性质的岩浆系列即超岩套;同时,这些岩浆可以发生混合,形成一些混合超岩套。这样,有可能构成多个超岩套组合,故可以建立超岩套组合。它们可能反映了巨型侵入岩带的复杂特征。

(6)杂岩

除上述正式的谱系单位外,在研究程度不够,一时不清楚的情况下,采用不具有等级意义的单位表达,如杂岩。杂岩是由多个成因关系不明的单元或序列、或序列组合群聚一起的规模较大的岩基(岩体),它们或相当于序列或序列组合。例如,可以见到一个岩基发育杂乱无章的基性到酸性侵入岩,各自的时代不清(也许是不同时代的侵入岩)、成因不明,只能暂时按照杂岩处理。

此外,其他一些可以鉴别的特征或可以填出的单元或要素,可以采用放大填制或叠加花纹的形式给予表达。如与侵入岩浆作用关系密切的内外蚀变带、同化混染带、重要的捕虏体带、残留体及深源岩石包体、流动构造、放射状和环状构造、脉体、矿化蚀变带等。

3.2 本次填图方法与以往单元-超单元的异同

本次采用的填图方法与花岗岩类区1:5万区域地质填图方法指南中的单元-超单元基本一致:①都是谱系单位;②采用不同级别的等级体制单位;③侵入体、单元、序列(超单元、岩套)-超序列(超单元组合)基本概念、归并原则和归并方法基本相同。特别强调,该指南阐述的基本工作方法仍然有效,值得好好再学习。

另外,本文探索的填图方法与该指南还有一些不同(表1):①单元可不命名,减少不必要的名称,造成名称混乱;②采用序列-超序列(或岩套-超岩套(Suite-Supersuite)术语,而不是一概要求超单元-超单元组合,以往单元群聚一起命名为序列,不同分布地点的单元组合命名超单元,本次统一为序列(包括狭义的和广义的系列,也可以用岩套)。因为目前填图越来越细,填出了很多单元,可以归并为很多超单元,这样,有可能会给以后归并更高一级的单元增加难度(如命名上的繁琐)。采用序列(岩套),可以进一步命名超序列(超岩套),方便更高一级单位的命名(如超序列组合(超岩套组合)),也与岩浆系列容易对应;③理论基础更全面,不仅考虑同源岩浆演化,而且还考虑异源岩浆的相互作用,如岩浆混合。此次强调考虑成因联系(除同源成因演化外,可能还有其他成因联系,如岩浆混合),而不是仅考虑同一岩浆的演化;④考虑了中基性、基性-超基性侵入岩的不同等级单位的建立,基性岩复杂,可采用亚序列,以方便表

达介于序列和超序列之间的可能的复杂侵入岩序列,如北山坡北超基性岩体的等级单位建立;⑤给出了具体的划分依据,如侵入体归并为同一个单元必须有相同的年龄、岩性、结构,还应该有相同的同位素特征(如Nd、Hf、O)等,即单元必须具备这些特征。

此外,有些研究将岩浆分为不同级别的岩浆系统,以及不同级别的系统和子系统^[13]。这与上述不同级别的单位理念和实质是相同的,是一个事物两个方面的表达。系统更多的是从岩浆本身的演化特征命名的,适合于研究;而上述不同等级填图单位(单元-序列-超序列)更多地突出了岩浆系统形成的岩体(岩带)客观实体,更易于填图。

3.3 侵入岩填图的专题研究

上述填图不同级别填图单位的建立需要有较深入的研究才能达到。此外,填图单位的正确建立,又为深入开展岩浆岩研究奠定了良好基础。这在当今趋向露头、标本、粉末地质研究的情况下,更显示出其研究的重大意义。因此,在上述填图基础上,建议开展深入的研究,包括专题填图和研究。

因为,花岗岩等侵入岩首先是一个地质体,并可能为一种构造标志体,蕴含了丰富的地球动力学信息。笔者提出,花岗岩等侵入岩的调查研究可以分为3个方面:①将侵入岩视为岩体(岩带),研究其物理特性(构造),包括巨量岩浆侵位的物理特性变化及其构造意义,如岩浆上升迁移、汇聚定位及岩体(带)形成/构建过程,也包括定位后的变形改造;②将侵入岩视为岩石,研究花岗岩等侵入岩的物源、成因,即岩石地球化学研究;③将侵入岩视为时间标志体,开展年代学调查研究,为探讨区域大地构造演化提供时间标志。

这三大方面的研究,有助于深化花岗岩体(带)形成、发育过程和构造背景的认识,从中提取重要的深部物质组织和大地构造信息,探索和解决大地构造及地球动力学问题,探索大陆地壳形成演化、变动、改造,为丰富、设置超越板块构造、创新地球动力学提供依据^[14-15]。

花岗岩大地构造主要研究内容可概括为物理(构造)特征、物质组成和年代学三大方面,具体研究内容简述如下。

3.3.1 岩体-岩带的物理特征(几何、定位、变形等)研究

(1)调查岩体的构造型式。包括:①岩体-岩带的几何形态;②内部结构构造(如面理发育情况);③与围岩的接触关系,内外接触带的变质及变形作用,蚀变、矿化点(带)等信息;④查明侵入体与区域构造的关系,确定前、同、后构造岩体。

(2)调查研究上升、定位机制和过程,是主动定位还是被动定位,岩浆上升定位及岩体(带)形成过程的物理特征及其构造动力学^[16-17]。

(3)查明岩体(带)的生长方式及形成/构建过程,探索区域构造动力学。岩体是同心非极性生长?还是极性生长?探索区域构造动力学^[18]。

(4)调查研究岩体组构及区域变形特征。岩体变形改造特征,为壳内不同层次流变研究提供重要参数。

(5)查明不同序列-超序列的剥蚀深度,为探索区域构造抬升和了解成矿带的剥蚀深度提供重要信息。

3.3.2 岩体的物质特征(岩石学、矿物学、地球化学等)研究

(1)岩浆演化研究。系统研究各个单元-序列-超序列的岩石学、矿物学、岩石地球化学和同位素地球化学特征,查明岩浆成因、演化。对混合成因花岗岩,寻找混合端元,查明混合成因,探讨壳幔相互作用。

(2)物源研究。区分同源、岩浆混合等类型,调查同源侵入体的同化混染和结晶分异作用。若有条件,开展全岩Nd、锆石Hf等同位素地球化学填图,示踪深部物质组成结构,为了解深部物质组成结构、划分大地构造单元提供依据;同时研究深部物质组成对成矿的制约^[19-21]。

(3)构造环境研究。结合岩石组合、地球化学特别是岩浆演化和区域地质背景,探讨侵入岩构造环境。需强调的是,填图为探讨岩浆演化提供了坚实基础,据此,可以通过系统的地球化学测试分析,揭示岩浆的演化过程,而这种不同岩套-超岩套-超岩套组合的系统分析,更有助于分析岩浆的动态演化。这是判别构造环境的重要途径^[18,20]。

(4)探索深部物质组成结构及大陆生长意义、花岗岩物源与大陆生长及深部结构的关联;区域同

位素填图在揭示深部物质组成、岩体定位抬升、流变学、大陆聚散等方面有望取得重大进展,为发展大地构造理论做出贡献。

(5)研究与成矿的关系。对与侵入岩矿产有关的地质要素进行重点调查,调查岩浆期次,确定与成矿有关的期次和特征。调查岩浆定位深度、机制及其岩浆通道等对矿液运移和富集的控制作用。研究岩浆期后热液蚀变、矿化特征。有条件的情况下,开展岩体剥蚀深度填图、蚀变岩、矿化标志填图,研究岩浆侵入作用与成矿的关系。

3.3.3 岩体年代学研究

(1)研究岩体的先后关系并精确定年,探讨岩浆过程。

(2)研究岩浆过程的时间尺度,为划分和探讨区域地质过程提供时间依据。

(3)研究岩体-岩带发育过程,揭示陆块聚散过程。分析岩带的形成和迁移,提供板块证据,探索超大陆和中小板块聚散的巨量花岗质岩浆的响应特点。

4 小 结

(1)以花岗岩为代表的侵入岩是基础地质调查和填图的主要对象和内容。中国侵入岩填图经历了不同的发展阶段,目前,需要探索和确定适合于新时期中大比例尺(1:5~1:2.5万)的填图方法。

(2)依据以往的填图实践经验,特别是同源花岗岩、异源花岗岩、中基性岩、超基性岩试点填图,本文探索提出侵入岩填图方法体系,为今后的侵入岩地区中大比例尺填图提供思路和参考方法。

(3)侵入岩填图应该建立不同级别的等级体制填图单位,即侵入体-单元-序列-超序列-超序列组合,分别对应岩体-岩基-岩带-巨型岩带。侵入体是最小的填图单位,若情况不明,可以用独立的非正式单位表示,用岩性+时代表达;单元是有相同时代、成分、结构、物源的侵入体归并的基本正式的填图单位,一般不正式命名,附属于序列命名,即某一个序列的1、2、3单元(已知单元先后顺序),或a、b、c单元(顺序不明),另外,可以增加粒度+岩性;序列是有2个以上具有成因联系的单元组合而成,应该命名,即地名+时代+可以概括的岩石组合;超序列由成因联系的序列组合构成,可以命名,即地名+时代。

(4)同源花岗岩岩浆,可以按照以往的谱系单位填图,其侵入体-单元-序列-超序列应该是一个岩浆旋回演化的产物。岩浆混合花岗岩,可以按照混合程度划分单元,归并序列。从区域上分析,有可能由2个或3个端元的序列混合,形成混合的序列,从而构成超序列。中基性岩-超基性侵入岩,也可以参考上述谱系单位和混合单位填图。同源的中基性岩-超基性侵入岩,可以按照同源花岗岩填图方法,但考虑到其复杂多变的特点,序列之下可以划分亚序列。若有异源混合的中基性岩-超基性侵入岩,可以参考混合花岗岩填图方法。

(5)花岗岩等侵入岩蕴含了丰富的地球动力学信息。在上述填图的基础上,有必要开展深入专题研究。①将侵入岩视为岩体(岩带),研究其物理特性(构造),包括巨量岩浆侵位的物理特性变化及其构造意义,如岩浆上升迁移、汇聚定位及岩体(带)形成/构建过程,也包括定位后的变形改造;②将侵入岩视为岩石,研究花岗岩等侵入岩的物源、成因,即岩石地球化学研究;③将侵入岩视为时间标志体,开展年代学调查研究,为探讨区域大地构造演化提供时间标志。

致谢:中国地质科学院地质研究所洪大卫、国土资源部信息中心肖庆辉研究员等给予指导和帮助,中国地质科学院地质研究所张磊、黄河、李建波、吕斌、史兴俊、杨奇荻博士等参加了野外填图工作,在此一并致谢。

参考文献

- [1]高秉璋,洪大卫,郑基俭,等.花岗岩类区1:5万区域地质填图方法指南[M].武汉:中国地质大学出版社,1991:1-169.
- [2]肖庆辉,周玉泉.一种值得重视的花岗岩类岩基填图新方法[J].中国地质,1985,(8):18-20.
- [3]洪大卫.关于花岗岩区的区域地质调查的某些问题[J].中国区域地质,1986,(2):63-68.
- [4]洪大卫.试论华南花岗岩岩套(岩石序列)的划分原则和研究方法[J].中国区域地质,1986,(3):193-203.
- [5]杨崇辉,庄育勋,王新社,等.关于“侵入岩谱系单位填图方法”有关问题的讨论[J].地质论评,2001,17(5):483-486.
- [6]李永军,赵仁夫,刘志武,等.关于造山带花岗岩类填图方法的讨论——以西秦岭天水地区为例[J].华南地质与矿产,2003,(1):1-6.
- [7]王涛.花岗岩混合成因研究及大陆动力学意义[J].岩石学报,2000,16(2):161-168.
- [8]李昌年.岩浆混合作用及其研究评述[J].地质科技情报,2002,21

- (4):49-54.
- [9] 窠全成, 董琳, 曹德云, 等. 造山带异源浆混花岗岩理论与方法研究[J]. 矿产与地质, 2008, 22(3):189-195.
- [10] 王连训, 马昌前, 熊富浩, 等. 浆混花岗岩专题填图方法初探—以东昆仑加鲁河地区为例[J]. 地质通报, 2017, 36(11):1971-1986.
- [11] 焦建刚, 芮会超, 夏明哲, 等. 基性—超基性侵入岩中大比例尺专题地质填图实践——以塔里木板块东北部坡北岩体为例[J]. 地质通报, 2017, 36(11):1999-2011.
- [12] 童英, 郭磊, 王涛, 等. 同源花岗岩谱系填图——内蒙古二连宝德石林花岗岩填图试点[J]. 地质通报, 2017, 36(11):1963-1970.
- [13] 罗照华, 苏尚国, 刘翠. 结构可控的地质解释——侵入岩专题地质填图构想[J]. 地质通报, 2017, 36(11):2012-2029.
- [14] 王涛, 张国伟, 王晓霞, 等. 花岗岩体生长方式及构造运动学、动力学意义——以东秦岭造山带核部花岗岩体为例[J]. 地质科学, 1999, 34(3):326-346.
- [15] 王涛, 王晓霞, 郭磊, 等. 花岗岩与大地构造[J]. 岩石学报, 2017, 33(5): 1459-1478.
- [16] Petford N, Cruden A R, McCaffrey K J, et al. Granite magma formation, transport and emplacement in the Earth's crust[J]. Nature, 2000, 408(6813): 669-673.
- [17] Wang T, Wang X X, Li W P. Evaluation of multiple emplacement mechanisms of Huichizi granite pluton, Qinling orogenic belt, Central China[J]. J. Strat. Geol., 2000, 22(4): 505-518.
- [18] 王涛, 王晓霞, 郑亚东, 等. 花岗岩构造研究及花岗岩构造动力学刍议[J]. 地质科学, 2007, 42(1):91-113.
- [19] Wang T, Jahn B M, Kovach V P, et al. Nd-Sr isotopic mapping of the Chinese Altai and implications for continental growth in the Central Asian Orogenic Belt[J]. Lithos, 2009, 110: 359-372.
- [20] Wang T, Guo L, Zhang L, et al. Timing and evolution of Jurassic - Cretaceous granitoid magmatism in the Mongol-Okhotsk belt and adjacent areas, NE Asia: Implications for transition from contractional crustal thickening to extensional thinning and geodynamic settings[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2015, 97:365-392.
- [21] Wang X X, Wang T, Ke C H, et al. Nd-Hf isotopic mapping of Late Mesozoic granitoids in the East Qinling orogen, central China: Constraint on the basements of terranes and distribution of Mo mineralization[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2015, 103:169-183.
- ①王涛, 李伍平. 中华人民共和国1:5万红柳河、芦苇井区域地质图(149E01402). 2000.
- ②王涛, 李伍平. 中华人民共和国1:5万狮子坪幅区域地质图(149E01402). 1996.