

基于多元知识和编图模型的智能地质编图技术及其应用

黄辉¹, 路彦明^{1*}, 李仰春², 张文华¹, 张大可³, 赵由之¹, 李超², 陈圆圆³
HUANG Hui¹, LU Yanming^{1*}, LI Yangchun², ZHANG Wenhua¹, ZHANG Dake³,
ZHAO Youzhi¹, LI Chao², CHEN Yuanyuan³

1. 中国地质调查局地球物理调查中心, 河北 廊坊 065000;

2. 中国地质调查局发展研究中心, 北京 100037;

3. 河北省区域地质调查院, 河北 廊坊 065000

1. Geophysical Survey Center, China Geological Survey, Langfang 065000, Hebei, China;

2. Development and Research Center, China Geological Survey, Beijing 100037, China;

3. Institute of Regional Geological and Mineral Survey of Hebei, Langfang 065000, Hebei, China

摘要: 中国 1:25 万—1:5 万区域地质调查积累了海量地质数据, 如何充分利用这些基础地质数据适时更新编制小比例尺 (1:50 万—1:500 万) 地质图, 及时、客观地反映最新地质调查成果, 给地质编图工作者提出了严峻挑战。充分利用地质、制图、数据库等多元知识构建地质编图模型, 支持计算机对岩石、地层、地质构造等地质实体及其复杂关系的智能识别, 有效取代地质编图人员对地质要素综合、属性继承与更新、制图输出等的处理决策, 通过图元与属性联动, 最终形成图库一体的地质图空间数据库。以编图知识提取、模型构建为重点, 对智能地质编图技术进行了探索, 并通过青海省东部 1:50 万地质图智能编制实践进行分析验证。结果表明, 编图知识和构建的模型符合智能地质编图要求, 智能地质编图技术能够大大提高从中大比例尺到小比例尺地质图缩编的效率和质量。

关键词: 多元知识; 编图模型; 地质体综合; 人工智能; 图库一体

中图分类号: P285.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-2552(2021)06-0978-10

Huang H, Lu Y M, Li Y C, Zhang W H, Zhang D K, Zhao Y Z, Li C, Chen Y Y. Intelligent geological mapping technology and its applications based on the multivariate knowledge and mapping model. *Geological Bulletin of China*, 2021, 40(6): 978-987

Abstract: In China, 1:250 000-1:50 000 regional geological survey has accumulated a large amount of database and formed a rich geological map with corresponding scale. How to make full use of these data and maps to compile small scale geological maps, and systematically reflect the latest geological survey results, brings a severe challenge to geological cartographers. Based on the big data, the geological map models are constructed through the multi-knowledge of geology, cartography and database, which can realize the intelligent recognition of geological phenomena such as stratum, magmatic rock, geological structure and their complex relations by computer, which can effectively replace the decision-making of geological cartographers on the synthesis and plotting of complicated geological map elements. Finally, the geological map spatial database is formed through the linkage of map elements and attributes. Focusing on knowledge extraction and map compilation model construction, this paper explores the technology of intelligent geological map compilation, and analyzes and verifies it through the 1:500 000 intelligent geological map compilation practice in the eastern part

收稿日期: 2019-03-01; 修订日期: 2020-03-29

资助项目: 中国地质调查局项目《基础地质图更新编制技术与数据库建设》(编号: 12120115071401)、《国家地质数据库建设与整合》(编号: DD20160351) 和《地质调查综合智能编图系统与应用》(编号: DD20190415)

作者简介: 黄辉 (1969-), 女, 硕士, 高级工程师, 地质编图与地质信息化专业。E-mail: 328434295@qq.com

* 通信作者: 路彦明 (1971-), 男, 博士, 高级工程师, 构造地质学专业。E-mail: yanming-lu-163@163.com

of Qinghai Province. The mapping knowledge and model meet the requirements of intelligent geological mapping. The technology of intelligent geological mapping can greatly improve the efficiency and quality of geological map reduction from medium-large scale to small scale.

Key words: multivariate geological knowledge; geological mapping model; geological body generalization; artificial intelligence; unification of database and maps

地质图是区域地质调查工作成果的重要载体和表现形式^[1]。新一轮国土资源大调查实施以来,中国 1:25 万、1:5 万区域地质调查取得了丰硕成果,积累了海量数据,但小比例尺(1:50 万—1:500 万)地质图更新严重滞后,难以适应新时期地质工作的新需求,也无法向国际地质学界充分展示中国在基础地质调查研究领域取得的最新进展。地质图编制技术是制约这一工作的关键环节,其中涉及的空间数据自动综合一直是地质编图领域的难题^[2-3]。常规地质图数据建库采用先成图后建库模式,属性数据录入繁琐和人为误差制约了数据建库质量和工作效率。当前,中国以地质大数据、专家系统、人工智能技术等为支撑的地质图智能编制技术已经取得突破性进展,引领了地质编图技术变革,改变了地质编图工作模式^[4-6]。ESRI 公司在线编图系统 ArcGIS Online^[7]、OneGeology 在线地质图制作^[8-9]、加拿大 GeoScaler 地质图综合软件^[10]等,也在地质编图领域取得重要进展。另外,中国基于通用 GIS 平台编图取得了可喜成果^[11],全国 1:50 万和 1:250 万地质图数据库系统^[12]、全国标准分幅 1:100 万地质图数据库^[13]、全国 1:150 万地质图数据库^[6,14]、1:500 万国际亚洲地质图数据库^[15]等,在地质制图方面积累了丰富的经验。目前,中国在智能计算机辅助编图技术方面取得了重大进展,但真正意义上要实现智能地质编图还存在诸多困难,主要问题在于地质要素复杂关系的智能识别、地质图综合、图与数据库一体化、智能专家知识体系构建等。本文以知识提取、编图模型构建为重点,对智能地质编图技术进行了探索,并在青海省东部以 1:25 万区域地质图开展 1:50 万地质图智能化编图实践与验证。工作过程基于中国地质调查局发展研究中心研制的“智绘地质 iMapower”智能计算机辅助地质编图平台,系统模拟地质专家编图思维,依据编图模型控制地质体综合、地质体关系判别、地质体标注、图例编制等自动或交互式处理,最终形成图库一体的地质图空间数据库。通过

实际应用,大大提高了地质编图工作效率。

1 总体思路

地质编图的编图成果依赖于知识基础,编图过程中地质要素综合是关键环节^[3]。智能化地质编图就是利用计算机模拟地质专家的编图思维,将地质知识及各要素关系、制图、数据库知识及各类标准规范等,转化成计算机可识别的编图模型,通过数据、知识、人工智能和程序算法控制地质编图的决策处理过程,最终形成地质图与数据库一体化的地质编图成果(图 1)。

编图知识是编图专家必备的专业理论、认识的积累,是地质学、数据库、制图领域的知识总和。编图模型是一系列描述地质图和地质要素的语义定义,是地质图、制图标准的提炼抽象,在编图过程中控制成果图件内容与图示表达样式。专题信息是为了满足某一领域需求的拓展内容,从地质空间数据库中提取、挖掘出来^[16],经过升级改造或派生转化,形成图面可表达的满足编图需求的信息集。智能编图系统是实现编图过程的工具集,是编图过程产生的数据信息流动通道和集合存储体,包含实现智能编图的算法,以及依据编图技术流程、作业方案等开发固化在计算机内的功能模块。地质基础

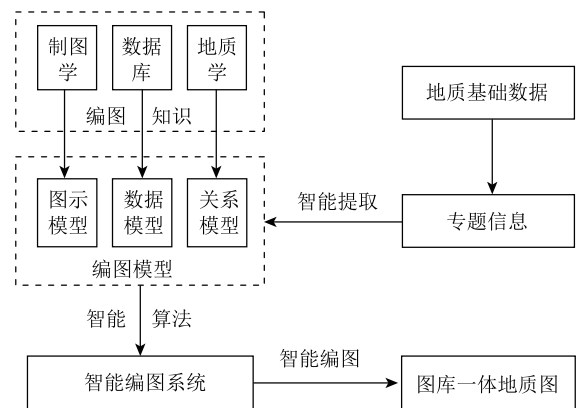


图 1 基于多元知识和模型的地质图智能编制技术框架
Fig. 1 Framework of intelligent geological mapping technology based on multivariate geological knowledge and mapping model

数据包括编图原始资料与数据,以及针对地质编图需要,通过综合研究形成的地质认识。图库一体地质图是图库联动一体化的编图成果,地质图与数据图库为同一文件,可直接进行图件输出。

2 多元知识提取

基于数据和知识驱动制图技术,高效开展地质图编制和数据库更新,发现和解决重大基础地质科学问题,引领了地质图编图技术发展方向^[17-23]。地质编图本质上是高度智能化的工程,离不开知识^[2],因此,智能地质编图系统是建立在科学的编图知识基础上,计算机通过学习编图知识,实现数据处理、挖掘转化、判断决策等智能化和交互式过程,大幅提升地质编图工作效率^[6,24]。基础数据、信息、知识在形成产品过程中又会产生新的数据^[25],进一步充实丰富数据,提升数据价值(图2)。

地质编图知识包括地质学理论、制图标准、数据库标准、编图区地质认识等(图3)。编图专家根据研究目的和编图需求,制定编图指导思想和原则,其中包括编图内容的要求、编图单位的划分精度、地质要素的归并原则、图面表达方式、数据建库方案等。编图知识通过规则、模型、算法,支撑计算机对知识的学习、推理、决策等自主应用,从而模拟地质编图专家思维开展编图。

地质图内容丰富、数据量大^[26],地质编图以地质学理论为指导,区域地质环境认识是地质编图的总则,因此,编图知识提取必须由地质专家完成,信息技术人员深度参与。编图知识必须通过合理的分类、概括,并描述成编图规则、模型,支持计算机编

图功能的设计和实现。用于编图建模的知识分类概括为以下内容:①编图单位:地质图表达的最小地质要素单元,以及地质要素内容、精度、表达方式等;②地质要素形成时代及演化时序的逻辑关系;③相邻地质要素时空关系识别规则;④重要地质体特殊规定;⑤地质要素数据结构和信息描述;⑥地质要素归并、简化等综合规则;⑦地质要素的图元类型、图示等表达规则。

3 编图模型构建

现代地图的编制已由经验制图发展到严密的理论模型制图^[27],地质图模型是沟通地质问题与计算机算法的桥梁和基础^[28]。从某种意义上说,地质图本身就是地球地表及地下(岩石圈)抽象化和概括化的模型,是以视觉符号或色彩形式表达的模型。地质图编图模型是编图者与编图软件之间的纽带,因此模型既要概括地质体特征,又要易于研发人员在计算机编程与算法中实现。

可以将地质图编图模型表述为: $M_{K1} \xrightarrow{G} M_{K2}$ ^[27,29],其中, M_{K1} 是编图前的原始资料图模型、 M_{K2} 是编图后成果图模型, G 是模型变换算子。对于不同类型的编图,由中大比例尺到小比例尺编图,或由原始地质图资料到专题地质图编图, M_{K1} 、 G 、 M_{K2} 的含义不同。由中大比例尺地质图数据编制小比例尺地质图, M_{K1} 是中大比例尺地质图模型, M_{K2} 为小比例尺成果地质图模型, G 为制图综合算子,亦即不同比例尺图件之间地质要素间的映射关系,其任务是控制原始资料图到新编成果图的内容转换^[30]。

因此,地质图智能编制需要构建地质图模型和地质图关系模型(图4)。①地质图模型由数据模型与图示模型组成,每一类地质实体分别定义数据模型与图示模型。数据模型描述地质实体性质特征属性,如地质体时代、名称、岩石组合及特征等信息,对应地质图空间数据库;图示模型描述地质实体表达方式的制图属性,决定地质图样式。②地质图关系模型是将编图前原始图数据与编图后成果图中的地质要素建立映射关系,描述编图中地质体综合、归并、简化的规则。

建立地质图数据模型、图示模型和关系模型三者关联关系,能够在编图过程中控制地质图综合、表达的“自动化”,从而实现地质图编图过程“智能化”。

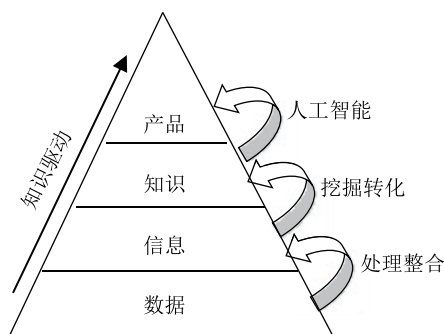


图2 知识驱动框架

Fig. 2 Framework of knowledge-driven

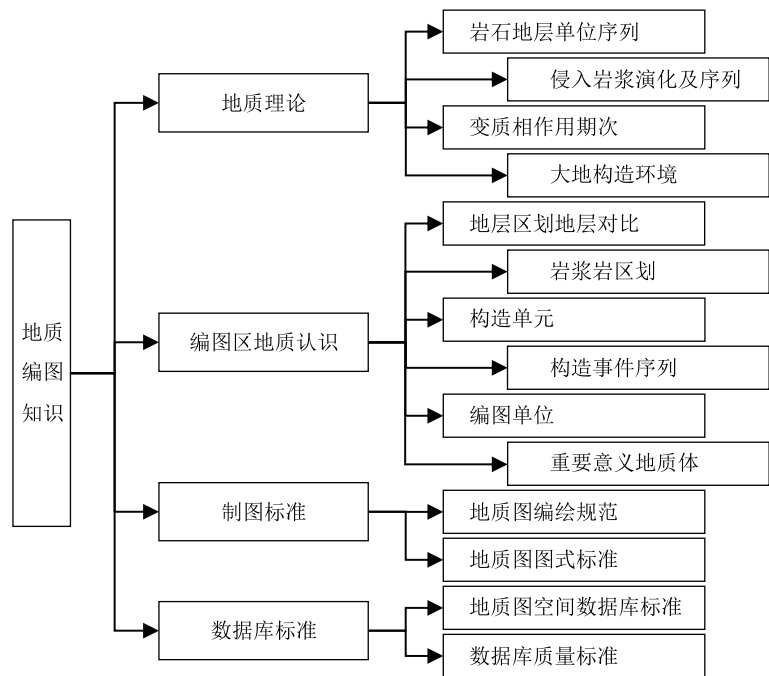


图 3 地质编图知识基本架构

Fig. 3 Basic structure of knowledge on geological map compilation

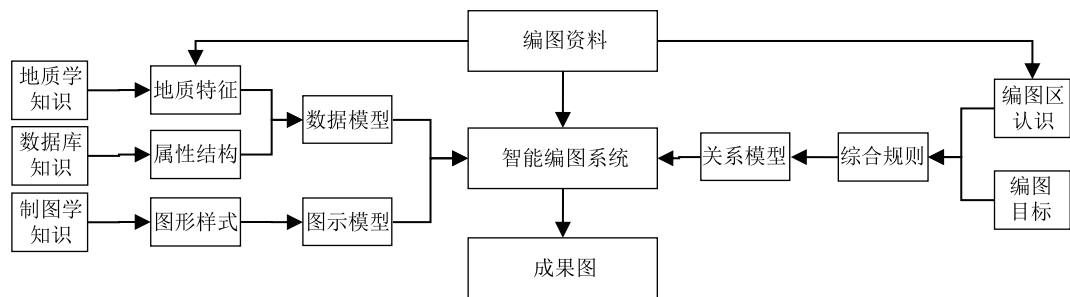


图 4 模型控制智能化编图过程

Fig. 4 Smart geological process based on model control

3.1 地质图数据模型

地质图数据模型存储地质实体空间几何信息，将地质图中的位置与其数据库中的实体属性关联。地质图中的数据实体包括地质体面要素、地质界线要素、化石点要素、火山口点要素等。以地质图数据库地质体面要素为例(表 1)，表 1 第 1 列对应“编图原始资料数据库地质体数据模型”，第 2 列为设计的“成果图数据库地质体数据模型”，第 3 列备注了成果图数据的来源方式。

地质图数据库中地质体面要素按地质体类型

分别以不同数据结构存储，通过“子类型标识”(Subtype)与对象数据集(Dsgmap.mdb)关联^①。当“Subtype=0”时，图元为“0-沉积(火山)岩岩石地层单位”，对应对象数据集中的“_Strata”表，“_Strata”表存储更详细的地质体属性信息，可支持地质数据进行 GIS 分析等。表 1 中第 1 项由编图系统对成果图地质体面图元自动编号；第 2、3 项是依据地质图关系模型，将原始图上的地质体类型代码、名称转换为成果图上的地质体代号、名称；第 4~7 项可由编图原始数据库的图元属性直

接继承。第 8~12 项是为支持智能编图而设计的,其中第 8~10 项由计算机根据“Subtype”字段从对象数据集中提取,自动填写在成果图图元属性中,便于编图者详细了解岩石特征;第 11 项“地质体重要性标识”=“1”,表示具有重要地质意义地质

体,重要地质体在编图过程中不因图斑面积太小而删除(甚至需要夸大表示);第 12 项“地质体更新标识”,初始自动赋值“0”,系统制图综合后自动赋值“1”,以此约束同一地质体在制图综合过程中只处理一次^②。

表 1 地质体面要素数据模型
Table 1 Data model of geological polygon

第 0 列	第 1 列		第 2 列		第 3 列
序号	编图原始资料地质体		成果图地质体		备注
	数据项名称	数据项编码	数据项名称	数据项编码	
1	地质体标识号	Feature_Id	地质体标识号	Feature_Id	重置 Id
2	地质体类型代码	Feature_Type	地质体代号	Feature_Type	依模型转换
3	地质体名称	Geobody_Name	地质体名称	Geobody_Name	依模型转换
4	地质体时代	Geobody_Era	地质体时代	Geobody_Era	属性继承
5	地质体下限年龄值	Geobody_Age1	地质体下限年龄值	Geobody_Age1	属性继承
6	地质体上限年龄值	Geobody_Age2	地质体上限年龄值	Geobody_Age2	属性继承
7	子类型标识	Subtype	子类型标识	Subtype	属性继承
8			地质体主要岩石名称	Rock_Name	属性提取
9			地质体岩石特征	Rock_Character	属性提取
10			地层分区	Stratum_Division	属性提取
11			地质体重要性标识	Sign	重新赋值
12			地质体更新标识	updata	重新赋值

3.2 地质图图示模型

地图是一种语言,基本要素包括方向、比例尺、图例和注记,是空间信息的符号模型^[21, 30]。地质图是用规定的符号和颜色表达研究区区域地层、岩石、地质构造等地质现象。这种规定通过国家、行业颁布的制图编绘规范、图式标准进行约定。

编图人员依据图式标准将地质体、地质界线(构造线)等图元要素的表达方式构建成地质图图示模型。这些模型信息存储在编图系统中,其他用户在使用编图系统进行制图时也可参照使用,能够极大地提高制图工作效率。

地质图图示模型主要包括地图定义、图层定义、页面定义、图形要素、符号化规则、符号库、颜色方案等(表 2)。以地质体面要素为例构建的图示模型见表 3。

表 2 地质图图示模型分类
Table 2 Classification models by graphic representation of geological map

主要类别	描述
地图定义	图层组成列表、地图窗口位置等
图层定义	图层命名、图层间压盖关系等图层属性设置
页面定义	定义图页面内容、结构,如图名、比例尺、图例、图签、镶图、页面尺寸等地图要素
图形要素	定义地图编图单位,每类图元内容的属性、符号、尺寸、纹理、颜色、方位、形状等内容
符号化规则	定义图内要素的符号、包括符号设定的参数、放置位置、对齐方式、注记要求等
符号库	预定义的各种可用于符号化要素的符号集(基于制图系统平台制作)
颜色方案	图中使用的所有颜色方案、配色要求

表 3 地质体面要素图示模型
Table 3 Graphical model of geological polygon

数据项名称	数据项编码	数据项类型	数据长度
填充模式	F_type	Integer	2
图案编号	F_P_number	Integer	4
图案高	F_P_height	Float	5.2
图案宽	F_P_width	Float	5.2
图案颜色	F_P_color	Integer	4
图案角度	F_P_angle	Float	5.2
图案笔宽	F_P_penwidth	Float	5.2
填充颜色	F_color	Integer	4
地质体代码	Feature_Type	Character	30

3.3 地质图关系模型

基于大比例尺地质图空间数据,智能地质编图方法是小比例尺地质图缩编、多尺度专题图件编制最有效的解决途径^[20-21,31]。建立新编成果图件中的地质要素与源数据图件的地质要素之间的映射关系是实现智能编图的关键,也就是说编图关系模型的建立,可支撑计算机进行知识应用,依据关系模型准确执行编辑取舍、编图与制图综合的过程决策。编图关系模型要包含地层区划、岩浆岩区划、构造事件等复杂的地质知识,才能反映地质图上地质单元属性特征和不同地质要素时间和空间上的关系。

编图关系模型能够充分体现地质编图专家的智慧与编图思想,也是应用计算机软件实现智能化编图的重要基础。首先,分别构建原始地质图的模型和成果地质图模型;其次,根据地质要素综合规则将 2 个模型中的同类地质要素一一对应,建立编图前后地质要素之间的关系^③;最后形成地质图关系模型。根据地质事件演化序列,本文采用二维表设计地质编图关系模型(表 4),横向由地质年代、成果地质图与原始地质图编图单位(即地质图内表达的最小地质单元)、地质体类型、地质体重要性标识 5 个部分组成;纵向表达地质体形成时间,自下而上由老到新记录编图区出露的地质体信息,上下相邻地质体间若为平行或角度不整合接触,则在其间插入一行接触关系类型注释。由于不同构造-地层分区经历了不同的沉积演化历史,形成不同的地层沉积序列,因此不同地层分区的地层单位在编图过程中的归并方式也不同^[32],需要针对每个地层分区分别编制各自的地质图关系模型。智能地质编图系统依据地质图关系模型学习不同成因地质体形成时代和时序、地质事件关系、重要地质体类型等,即可模拟地质专家开展地质体归并、编图综合、相邻地质体接触关系等判断。相邻地质体接触关系的判别,需结合地质体接触关系判别规则(表 5),判别规则通过编程固化到编图系统中,计算机依据相邻地质体属性自动判别地质体接触关系。

表 4 地质图关系模型示例
Table 4 Example of relation model for geological map

I			II		III		IV	V
地质年代			成果地质图编图单位		原始地质图编图单位		地质体类型	重要地质体
代	纪	世	地质体代号	地质体名称	地质体代号	地质体名称	子类型标识	重要性标识
			Qh ^{al}	全新世冲积	Qh\$a\$1	全新统冲积	0	0
			...	...	...	...	...	...
						角度不整合		
					K@1H\$3	河口群三组	0	0
			K ₁ H	河口群	K@1H\$2	河口群二组	0	0
					K@1H\$1	河口群一组	0	0
						角度不整合		
			δμJ	侏罗纪闪长玢岩	Jδμ	灰绿色闪长玢岩	1	0
			...	...	...	...	...	...

注: \$ 表示其后第一个字母或数字为上标; @ 表示其后第一个字母或数字为下标; 以下表中同

表 5 地质体接触关系与判别规则
Table 5 Contact relation of geological bodies and the distinguishing rules

序号	类型	判别条件
1	整合接触	1.Subtype ^A =0 或 3 或 5;Subtype ^B =0 或 3 或 5 2.A 和 B 两地层单位相邻且其间无“不整合”相隔
2	平行不整合接触	1.Subtype ^A =0 或 3 或 5;Subtype ^B =0 或 3 或 5 2.A 和 B 两地层单位间有“平行不整合”注释
3	角度不整合接触	1.Subtype ^A =0 或 3 或 5;Subtype ^B =0 或 3 或 5 2.A 和 B 两地层单位间有“平行不整合”注释
4	侵入接触	1.Subtype ^A =1 或 2 或 3 或 6 2.A 位于 B 上部(A 晚于 B 形成时代)
5	沉积接触	1.Subtype ^A =1 或 2 或 3 或 6 2.A 位于 B 下部(A 早于 B 形成时代)
6	断层接触	1.A 与 B 地质体间有断层通过;或 A 与 B 公共边与断层线重叠的地质界线 2.Subtype ^A =4
7	构造接触	1.A 位于 B 上部(A 晚于 B 形成时代)。“混杂岩”、“岩组”(特殊地质体 4)等晚于与其接触地质体
8	水体接触	1.Subtype ^B =9
9	其他接触	1.Subtype ^B =7 或 8
10	第四纪松散堆积物覆盖界线	1.Subtype ^A =0 2.Feature_Type ^A like “q%”(第四纪地质体)

注:(1)A—地质体,B—与 A 相邻地质体;Subtype^A—地质体 A 的地质体类型;Subtype^B—地质体 B 的地质体类型;Feature_Type^A——地质体 A 的地质体代号;(2)地质体类型-Subtype 取值意义:0—沉积(火山)岩岩石地层单位;1—侵入岩岩石年代单位;2—侵入岩谱系单位;3—变质岩地(岩)层单位;4—特殊地质体;5—非正式地层单位;6—脉岩;7—戈壁沙漠;8—冰川与终年积雪;9—水体

4 应用实例及分析

以 1:25 万临夏市幅(I48C001001)区域地质调查成果为数据源,应用“智绘地质 iMapower”智能计算机辅助地质编图系统,编制了临夏地区 1:50 万地质图。临夏市位于青藏高原东北缘,地处青藏高原与黄土高原交接地带、祁连山与西秦岭之间,山岭起伏、水系发育,临夏市幅跨甘肃、青海两省。地层区划属秦祁昆地层区,划分为祁连、西秦岭 2 个地层分区^{①④}。

以西秦岭地层分区为例,表 6 建立了 1:50 万地质图与 1:25 万地质图编图单位一一对应关系,如 1:25 万尺度的河口群一、二、三组在 1:50 万尺度下归并为河口群。第 I 栏是地质年代,表达地质时代;第 II 栏是编图区 1:50 万地质图编图单位;第 III 栏是编图原始数据 1:25 万地质图编图单位;第 IV 栏是地质体类型(子类型标识,如“0—沉积(火

山)岩岩石地层单位”、“1—脉岩”、“6—侵入岩”等);第 V 栏是重要地质体标识,如“超基性岩”和“玄武岩”是本区重要的地质体,重要性标识为“1”,在编图过程中该类地质体的面图元不能合并和删除,根据需要进行夸大处理。在两行数据记录间插入的注释表达上下紧邻地质体间的接触关系类型,如“西宁群”与“河口群”间接触关系是角度不整合。

“智绘地质 iMapower”编图系统采用双视窗同步显示(图 5),左视窗为编图前 1:25 万地质图,右视窗为编图后 1:50 万地质图。通过执行“同属性合并”功能,系统依据表 6 地质图关系模型运行,执行后左视窗中“河口群一组 K₁H¹”和“河口群二组 K₁H²”自动合并成右视窗中“河口群 K₁H”;左视窗中“毛沟组 N₁m”和“他拉组 Et”自动归并成右视窗中“甘肃群 NG”。图元的“地质体代号”与“地质体名称”属性也依据表 6 自动继承或更新为成果图中的表达形式,并自动写入 1:50 万地质图数据库中。

表 6 临夏地区西秦岭地层分区 1:25 万和 1:50 万地质图关系模型(部分)

Table 6 1:250 000 and 1:500 000 geological map relation for stratum subarea of West Qinling in Linxia area

I			II		III		IV	V
地质年代			1:50 万地质图编图单位		1:25 万地质图编图单位		地质体类型	重要地质体
代	纪	世	地质体代号	地质体名称	地质体代号	地质体名称	子类型标识	重要性标识
新 生 代	第 四 纪	全新世	Qh ^{al}	全新世冲积	Qh\$a\$1	全新统冲积	0	0
					Qh\$p\$a\$1	全新统冲洪积	0	0
			Qh ^{alp}	全新世冲洪积	Qh\$p\$a\$1(T@I)	洪冲积(一级阶地)	0	0
					Qh\$p\$a\$1(T@II)	洪冲积(二级阶地)	0	0
		晚更新世	Qp ₃ ^m	晚更新世马兰组	Qp@3m\$2	马兰组上段	0	0
					Qp@3m\$1	马兰组下段	0	0
					Qp@3\$p\$a\$1	上更新统冲洪积	0	0
			Qp ₃ ^{alp}	晚更新世冲洪积	Qp\$3\$p\$a\$1(T@III)	洪冲积(三级阶地)	0	0
		中更新世			Qp\$3\$p\$a\$1(T@IV)	洪冲积(四级阶地)	0	0
			Qp ₂ ^{alp}	中更新世冲洪积	Qp@2\$p\$a\$1	中更新统洪积	0	0
					Qp\$3\$p\$a\$1(T@IV)	洪冲积(四级阶地)	0	0
		早更新世	Qp ₁ ^{alp}	早更新世冲洪积	Qp@1\$p\$a\$1	下更新统冲洪积	6	1
			Qp ₁ ^d	早更新世东山组	Qp@1d	东山组	0	0
	新 近 纪	第四纪成因未分	Q	第四纪成因未分	Q	第四系未分	0	0
			q	石英脉	q	石英脉	6	1
			γ	花岗岩脉	γ	花岗岩脉	6	0
			Σ	超基性岩	Σ	超基性岩	6	1
		新近纪甘肃群			N@2j	积石组	0	0
					N@2h	何王家组	0	0
					N@1m	毛沟组	0	0
					E@3t	他拉组	0	0
	古 近 纪	古—始新世西柳沟组	E ₁₋₂ ^x	古—始新世西柳沟组	Ex	西柳沟组	0	0
			EX	古近纪西宁群	Ey	野狐城组	0	0
		角度不整合						0
中 生 代	白 垩 纪	早白垩世			K@1H\$3	河口群三组	0	0
					K@1H\$2	河口群二组	0	0
					K@1H\$1	河口群一组	0	0
		侏罗纪	K ₁ ^H	河口群				
					角度不整合			
			δμj	侏罗纪闪长玢岩	Jδμ	灰绿色闪长玢岩	1	0
			γδj	侏罗纪花岗闪长岩	Jγδ	灰白色花岗闪长岩	1	0
			ηγj	侏罗纪二长花岗岩	Jηγ	浅肉红色二长花岗岩	1	0
			δoj	侏罗纪石英闪长岩	Jδo	灰白色石英闪长岩	1	0
...	...		...	...	...	...	...	...

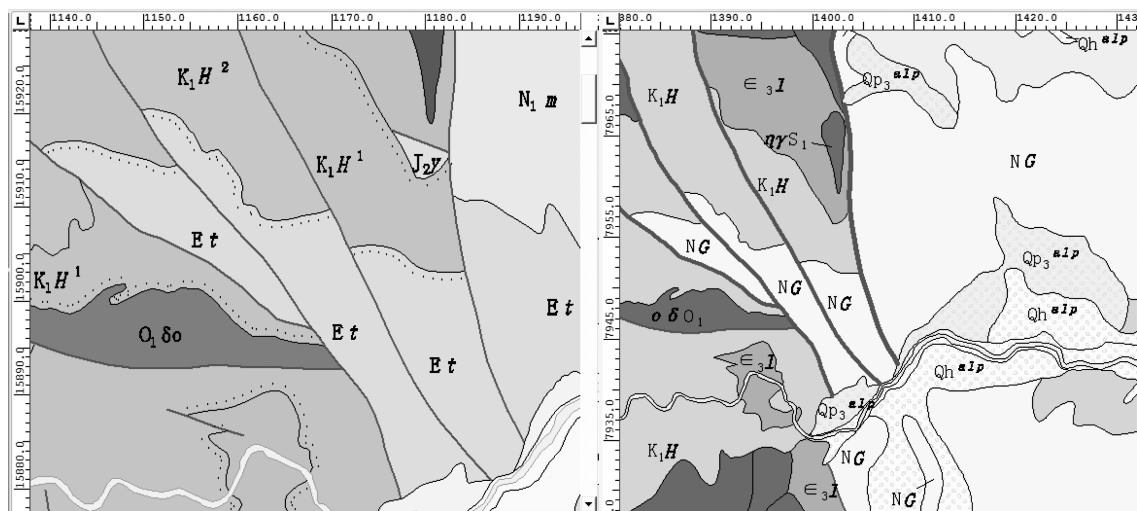


图5 临夏地区地质图部分示意(左视窗1:25万,右视窗1:50万)

Fig. 5 Compiled geological map of Linxia area(part)

智能化地质编图前期建立编图数据模型、图示模型、关系模型后,应用智能地质编图系统只需一键式操作即可完成一幅1:25万标准图幅的地质体综合归并,运行时间仅需几十秒(不包含专家知识库和模型建立时间),而基于GIS基础平台传统人机交互式编图可能需要1个月时间完成,效率显著提高。如果产生新的调查数据或有新认识,可以随时修改编图数据模型和关系模型,即时形成更新后的编图成果。编图过程中智能编图系统依据关系模型自动写入编图后数据库的图元属性信息,属性与图元联动,不需要人工输入,既保证了数据库质量,也极大地提高了编图效率。经与青海省区域地质志1:50万地质图对比,相同地区编图成果基本一致^②。

5 结 论

本文设计了基于多元知识和编图模型的智能地质编图技术框架,初步建立了多元知识提取和编图模型构建的方法流程,为智能地质编图系统研发和应用提供了基础。青海省东部地区智能地质编图实践取得预期应用效果,编图成果符合地质客观规律,体现了科学、实用、高效的特点,该技术可在基础地质图的缩编、地质专题图快速编制领域推广应用。

(1)智能地质编图实现的关键是对知识的识别和应用,支持智能编图系统模拟地质专家在编图过程中处理问题的思维方式,解决地质编图问题,其

中知识的提取和模型构建是重点和难点。

(2)对地质编图所涉及的知识进行分类概括,建立地质编图数据模型、关系模型和图示模型。数据模型解决编图数据属性继承与转化更新,关系模型支持地质体智能综合简化和地质体间接触关系判断,图示模型支持系统实现地质体统一着色、地质体代号注记、图例编制等制图编辑与整饰环节的自动化,最终形成图库一体的地质图空间数据库。

目前,智能化地质编图仍需少量人工干预进行复杂地质问题处理,编图技术还需要进一步完善。①地质编图是一项复杂的综合思维过程,计算机难以完全模拟地质专家全部编图思想,避免盲目追求编图与制图综合全自动化;②针对复杂地质问题的处理,需完善判断、决策的规则库研究与建立;③开放的人机协同环境,是提高智能地质编图系统适用性和编图成果科学性的必备途径。

致谢:感谢审稿专家及吉林大学地球探测科学与技术学院王永志教授对本文提出的修改意见。

参考文献

- [1] 乔秀夫,丁孝忠.区域地质调查与编图综合研究——写在新编《中国地质图集》出版之际[J].地质通报,2003,22(10):769-774.
- [2] 王家耀.空间数据自动综合研究进展及趋势分析[J].测绘科学技术学报,2008,25(1):1-8.
- [3] 武芳,巩现勇,杜佳威.地图制图综合回顾与展望[J].测绘学报,2017,46(10):1645-1664.
- [4] 李仰春,王永志,陈圆圆,等.智绘地质——新一代智能化地质编图

- 模式及应用[J].地质通报,2020,39(6):861-870.
- [5] 何文娜,朱长青,李仰春,等.智能地质体综合技术在地质图编编中的应用[J].地质通报,2020,39(6):871-879.
- [6] 何文娜,朱长青,王永志,等.智绘地质——一种基于 MapGIS 的地质编图智能化系统[J].地球物理学进展,2019,34(5):2030-2036.
- [7] Tomlin C D. GIS and Cartographic modeling [M]. California: Esri Press,2012.
- [8] BGS. DiGMapGB digital geological maps of Great Britain Datasets [EB/OL].[2018-10-24](2019-08-01).http://www.bgs.ac.uk/products/digitalmaps/DiGMapGBMaps.html,2019.
- [9] OneGeology.Portal[EB/OL].[2018-10-24](2019-08-01).http://www.onegeology.org/portal/home.html,2019.
- [10] Smirnov A, Huot-Vezina G, Paradis S J, et al. Generalizing geological maps with the GeoScaler software: The case study approach [J]. Computers & Geosciences, 2012, (40): 66-86.
- [11] 李廷栋.当前国际地质编图的一些动态[J].地质论评,2013,2:208,216.
- [12] 叶天竺,黄崇轲,邓志奇.1:250万中华人民共和国数字地质图空间数据库[J].中国地质,2017,44(S1):19-24.
- [13] 庞健峰,丁孝忠,韩坤英,等.1:100万中华人民共和国数字地质图空间数据库[J].中国地质,2017,44(S1):8-18.
- [14] 中国地质调查局基础调查部.中国小比例尺地质图概况[J].中国地质,2018,45(2):423.
- [15] 任纪舜,牛宝贵,王军,等.1:500万国际亚洲地质图[J].地球学报,2013,34(1):24-30.
- [16] 于萍萍,陈建平,柴福山,等.基于地质大数据理念的模型驱动矿产资源定量预测[J].地质通报,2015,34(7):1333-1343.
- [17] Charlie F. Modeling active database-driven cartography within GIS databases [C]//The 21st International Cartographic Conference of the International Cartographic Association. Durban, South Africa, 2003.
- [18] Buckley A, Frye C, Battenfield B. An Information Model for Maps: Towards Cartographic Production from GIS Databases [EB/OL].[2018-10-24](2019-08-01).http://icaci.org/files/documents/ICC-proceedings/ICC2005/htm/pdf/oral/TEMA1/SESSION1/AILEEN%20BUCKLEY.pdf,2019.
- [19] 陈刚,姚仲友,王天刚,等.大洋洲地区系列地质图件编制[J].地质通报,2014,33(2/3):159-163.
- [20] 王家耀,钱海忠.制图综合知识及其应用[J].武汉大学学报(信息科学版),2006,5:382-386,439.
- [21] 王家耀,孙群,王光霞,等.地图学原理与方法[M].北京:科学出版社,2014.
- [22] van Gasselt S, Nass A. Planetary mapping -- The data model's perspective and GIS framework [J]. Planetary and Space Science, 2010, (59): 12.
- [23] 陈军,王东华,商瑶玲,等.国家1:50000数据库更新工程总体设计研究与技术创新[J].测绘学报,2010,39(1):7-10.
- [24] 王杨刚,郝丽荣,黄辉,等.基于空间数据和专家知识驱动的地质编图技术研究与应用[J].地质通报,2019,38(12):2067-2076.
- [25] 赵鹏大.地质大数据特点及其合理开发利用[J].地学前缘,2019,26(4):1-5.
- [26] 黄崇轲,李浩川.中华人民共和国1:50万数字地质图 and 空间元数据[J].中国地质,2001,28(2):43-48.
- [27] 王家耀,孙力楠,成毅.创新思维改变地图学[J].地理空间信息,2011,9(2):1-5.
- [28] 罗建民,张旗.大数据开创地学研究新途径:查明相关关系,增强研究可行性[J].地学前缘,2019,26(4):6-12.
- [29] 王家耀,邹建华.地图制图数据处理的模型方法[M].北京:解放军出版社,1992.
- [30] 王家耀.地图学与地理信息工程研究[M].北京:科学出版社,2005.
- [31] 王光霞.数字环境下制图综合概念和方法的拓展[J].测绘学院学报,2005,9:207-211.
- [32] 郭宽廉,左群超,郭可筠.建立地质图数据库的地质年代代码问题[J].地质通报,2008,27(7):1103-1106.
- ① DD2006-06.中国地质调查局地质调查技术标准[S].中国地质调查局,2006.
- ② 黄辉,路彦明,张大可,等.基础地质图更新编制技术研究 with 数据库建设报告.廊坊:(原)武警黄金地质研究所,2015-2017.
- ③ 黄辉,路彦明,张文华,等.基础地质数据更新技术流程方案.廊坊:(原)武警黄金地质研究所,2015-2017.
- ④ 张克信,朱云海,樊光明.1:25万临夏市幅(148C001001)区域地质调查报告(修测).武汉:中国地质大学(武汉)地质调查研究院,2006.