

地质约束条件下的地质体智能综合方法研究

徐 可¹, 王永志^{1,2}, 陈圆圆³, 陈堂雷¹, 蒋作瑞⁴
XU Ke¹, WANG Yongzhi^{1,2}, CHEN Yuanyuan³, CHEN Tanglei¹, JIANG Zuorui⁴

1. 吉林大学地球探测科学与技术学院, 吉林 长春 130061;

2. 吉林大学综合信息矿产预测研究所, 吉林 长春 130061;

3. 河北省区域地质调查院, 河北 廊坊 065000;

4. 北京创时空科技发展有限公司, 北京 100083
1. College of Geo-exploration Science & Technology, Jilin University, Changchun 130061, Jilin, China;

2. Institute of Integrated Information for Mineral Resources Prediction, Jilin University, Changchun 130061, Jilin, China;

3. Hebei Regional Geological Survey Institute, Langfang 065000, Hebei, China;

4. Beijing Space-Time Technique Development Limited Company, Beijing 100083, China

XUK, WANG Y Z, CHEN Y Y, et al., 2021. A geology-constrained new intelligence method of synthesizing geologic bodies [J]. Journal of Geomechanics, 27 (3): 365-373. DOI: 10.12090/j.issn.1006-6616.2021.27.03.033

Abstract: Due to its massive content, complex processing logic and heavy repeated workload, geologic body synthesis, as the key task in the geological map compilation, is the primary factor affecting the process. Therefore, our study aims to realize the high-efficiency synthesis of geologic bodies. This paper presents a new intelligence method of synthesizing geologic bodies, which takes geological constraints (expert knowledge) as the core and cartographic generalization as the means to merge spatial graphs. Also three ways of synthesizing geologic bodies were designed (merging geologic bodies with the same properties, merging interactively selected geologic bodies, merging geologic bodies into drawn bigger polygons) based on regular mapping of geological expert knowledge such as geological age, stratigraphic name. By using the geological map data in the Beishan area to test the geologic body merging module, and through repeated comparative experiments, it is proved that this intelligence method can not only rapidly realize the “one-click” synthesis of the spatial graphs of geologic bodies, but also complete the automatic mapping and assignment of geological knowledge. The comprehensive results accord with the geological rule. This method provides an effective automatic tool for simplifying geologic bodies or other surface elements to reflect the spatial distribution in a geological map.

Key words: geologic body synthesis; geological knowledge; artificial intelligence; cartography generalization

摘 要: 地质体综合是地质图编制工作的重中之重, 因其处理涉及内容多、业务逻辑复杂、重复工作量大, 是影响编图工作推进的主要因素。为了能够实现地质体的高效综合, 文章提出了一种以地质约束条件 (专家知识) 为核心、以制图综合为空间图形合并手段的新型地质体智能综合方法, 设计并实现了围绕地质专家知识 (如地质年代、地层名称等) 规则映射开展的三种地质体综合方法 (同属性合并、交互式选择合并、绘图合并)。使用北山地区地质图数据对地质体综合模块进行测试, 经反复对比实验, 证实

基金项目: 国家重点研发计划 (2017YFC0602203); 中国地质调查局地质调查项目 (DD20190415)
This research is financially supported by the State Key Research and Development Program (Grant No. 2017YFC0602203) and Geological Survey Project of China Geological Survey (Grant No. DD20190415)
第一作者简介: 徐可 (1999—), 女, 在读硕士, 从事地理信息科学、地图制图学与地学信息工程等研究。E-mail: 843820914@qq.com
通讯作者: 王永志 (1974—), 男, 博士, 教授, 从事 GIS、人工智能、大数据等理论及其在地学领域应用研究。
E-mail: wangyongzhi@jlu.edu.cn
收稿日期: 2021-01-06; **修回日期:** 2021-03-25; **责任编辑:** 吴芳
引用格式: 徐可, 王永志, 陈圆圆, 等, 2021. 地质约束条件下的地质体智能综合方法研究 [J]. 地质力学学报, 27 (3): 365-373. DOI: 10.12090/j.issn.1006-6616.2021.27.03.033

了该方法不仅能够快速实现地质体空间图形的“一键式”合并，还可以自动完成地质知识的映射与赋值，综合结果符合地质规律。该方法为反映地质空间分布前提下对图件中地质体或其他面图元的精简提供了一种有效的自动化工具。

关键词：地质体综合；地质知识；人工智能；制图综合

中图分类号：P283 **文献标识码：**A

地质图编制是一项复杂的专业性系统工程(王家耀等, 2011; 李廷栋, 2011), 重复性工作量巨大且专业性要求高。为了提高工作效率和制作效果, GIS 软件中的地图综合模块在计算机辅助制图过程中起到了重要作用(毋河海, 2012; 王忠蕾等, 2012; 刘素楠和李通国, 2014; 艾廷华, 2016), 但其处理逻辑简单难以满足地质图编制专业级要求。近年来, 制图专家一直在探索采用人工智能方法协助地质图编图(应申和李霖, 2003; 王家耀等, 2005; 王家耀和钱海忠, 2006; 武芳等, 2017), 将基于规则(李丽, 2018)、基于模型(何文娜等, 2020a; 黄新文等, 2020)、基于知识(王杨刚等, 2019; 杨星辰等, 2020a)等制图方法融入地质图编制工作中, 使得地质编图过程更为科学、智能。为了有效提升地质编图工作中地质体综合的工作效率(柯学等, 2008; 邹胜武等, 2013; 游晋卿等, 2015; 何文娜等, 2019; 李仰春, 2020; 杨星辰等, 2020b), 文章提出了一种将制图综合方法和地质约束条件(以专家知识形式体现)相结合实现地质体智能综合的方法, 在地质代号、地质年代等地质专家知识和编图规则驱动下, 自动或交互完成属性相同或相近、空间相邻地质体合并等任务, 为人机交互式快速完成地质体综合提供了一种新型工作模式。

1 地质约束条件下的地质体综合框架

在地质图缩编工作中, 处理的核心是面状地

质体(张思科等, 2009; 翁正平, 2013), 单个地质体或多个地质体处理后形态要与原始地质体保持几何相似性, 同时每个地质体的地质年代、岩石名称等属性数据更新结果要符合地质规律, 这些处理涉及地层、岩体、矿床等形态、分布和相互关系等(Winchester, 2002)。地质体的处理主要以地质体的一个或多个重要属性(如地质代号)为依据, 采用化简、概括、位移、删除等地图制图的综合方法完成, 即同时从空间形态、属性值上对地质体进行综合(王家耀等, 2014), 实现大比例尺到小比例尺的地质图缩编或同比例尺其他专题图件的编制(刘立国等, 2011; 陈圆圆等, 2021)。

为了将制图专家从耗时费力的地质体综合工作中解放出来, 文章借助人工智能、地图制图、地图可视化、地质专家知识等跨学科的多种技术融合的优势, 以地质专家知识作为重要约束条件驱动地质体的综合任务(合并、夸大、移除等)。起重要约束条件的地质知识包括地质格架、构造单元、地层分区、岩浆演化、断裂系统等内容(黄辉等, 2021), 地质代号、地质单位名称、地质年代、类型标识等专家知识和原始地质图件数据一起作为数据输入, 由智能算法驱动地质体综合过程的完成(图1)。地质体智能综合采用自动化无人值守和人机交互式两种方式合作完成同属性相邻地质体合并、属性相近相邻地质体合并。此外, 亦可在地质约束条件下完成夸大地质体、微小地质体消除等地质体综合任务。

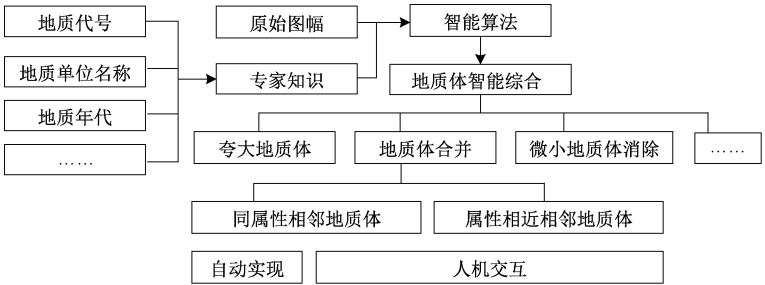


图1 地质约束条件下的地质体智能综合框架

Fig. 1 Framework of using geology-constrained intelligence to merge geologic bodies

2 地质体智能综合方法

地质体智能综合方法包括对地质体开展的同属性合并、交互式选择合并、绘图合并、消除微小地质体、夸大小地质体等多种方法, 文章以前三种方法为例加以说明。

2.1 同属性合并

同属性合并是地质体智能综合的重要任务之一, 是指对两个以上属性相同且空间上相邻的地质体进行自动化合并, 可对全图或指定范围的多个地质体按指定的一个或多个属性字段快速、自

动合并 (孟祥卉等, 2020), 这些字段值是从大比例尺地质数据库中经属性继承提取并更新过来的专家知识 (岩石名称等)。将指定的属性相同、空间范围相邻的地质体 (图 2a) 合并形成新的更大一些的地质体 (图 2b), 即属性相同的 A_1 、 A_2 、 A_3 合并生成 A , B_1 、 B_2 、 B_3 合并形成 B , C_1 、 C_2 消除边界创建了 C , 根据地质专家知识中的源图幅到目标图幅的地质代号、地质时代等映射关系, 为合并后的地质体赋予符合地质规律的新属性 (如新的地质代号); D 、 E 未发生改变。此操作适用于快速完成大数据量的地质体的智能合并。

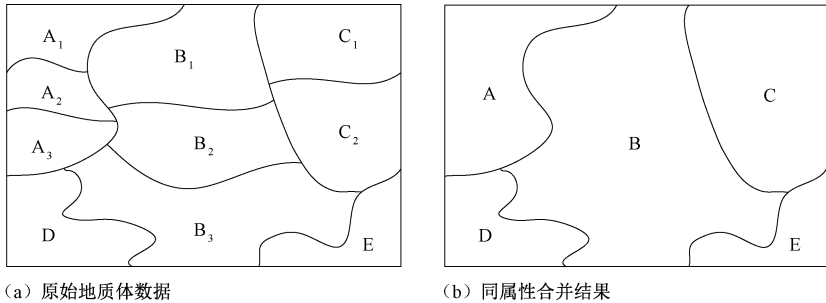


图 2 同属性合并原理图

Fig. 2 Diagram of merging geologic bodies with the same properties. (a) Original geologic body data. (b) Merging result of the geologic bodies with the same properties

同属性合并一般是对一个地质体图层中所有要素或部分符合条件的要素进行的自动化的处理, 其完成任务的伪代码如下:

- (1) 获得地质体集合 D ;
- (2) 创建合并后地质体保存集合 N ;
- (3) 从集合 N 中提取属性字段集合 $F = \sum F_i$, $i = 1, 2, \dots, n$;
- (4) 选择用于合并的字段集合 C ($C \in F$, $C = \sum C_j$, $j = 1, 2, \dots, m$, $m < n$);
- (5) 提取符合条件集 W 的地质体子集 G ($G \in D \cap W$, $G = \sum G_t$, $t = 1, 2, \dots, p$, $W = \sum W_k$, $k = 1, 2, \dots, q$);
- (6) 从子集 G 中提取下一个地质体 G_t ;
- (7) 若 G_t 为空 (最后一个地质体后面), 则执行步骤 (15);
- (8) G_t 地质体非空, 则提取与之空间相邻的地质体集合 E ($E = \sum E_r$, $r = 1, 2, \dots, v$);
- (9) 提取 E 的下一个要素 E_r ;
- (10) 若 E_r 为空, 则执行 (13);
- (11) 若 E_r 未合并过, 则计算 $N_s + G_t \cup E_r$;

- (12) 执行步骤 (9);
- (13) 为 N_s 属性赋值, 将 N_s 保存至地质体集合 N ;
- (14) 执行步骤 (6);
- (15) 清除内存, 结束合并任务。

2.2 交互式选择合并

当合并少量空间相邻、属性相同或相近的地质体时, 可采用较同属性合并更为灵活的交互式选择综合方法。在图 3a 中选择两个空间相邻、属性相同或相近甚至不同的地质体 B_2 、 B_3 , 合并形成了图 3b 中一个新的地质体 B , 属性可用两个原地质体的属性映射值或重新赋值。 A_1 、 A_2 、 A_3 、 C_1 、 C_2 、 C_3 等未被选中则无变化。此方法适用于小范围、综合考虑地质知识的较复杂合并任务 (如接边)。

2.3 绘图合并

在地质图编制时 (如缩编), 经常需要对空间不相邻、属性相同或相近的多个非重要小地质体进行处理, 受不同地质图可视化规则制约 (如小比例尺), 在合并成一个新的较大地质体后, 该地

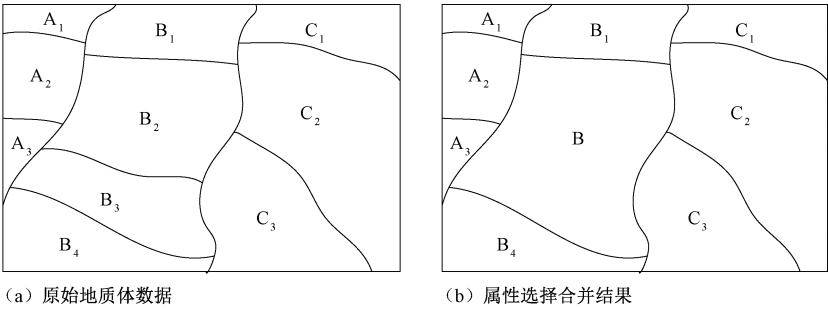


图 3 交互式选择合并原理图

Fig. 3 Merging diagram of interactively selected geological bodies. (a) Original geologic body data. (b) Merging result of the selected geologic bodies

质体的几何形态仍需真实反映原始多个小地质体的空间分布效果。可采用多个地质体的外包络边界或在其外围绘制一个覆盖所有小地质体的新地质体以完成综合；经融合实现综合的地质体属性可由被合并的一个小地质体的关联地质知识映射得到，亦可

赋予新值。在图 4 中，属性相同的 3 个地质体 B_1 、 B_2 、 B_3 被融入新绘制的地质体 B 中。对于多个属性不完全相同（属性相近）的小地质体（如图 5a 中 D_1 、 D_2 、E），需编图专家干预并确认后，方可被融入新地质体内（如图 5b 所示）。

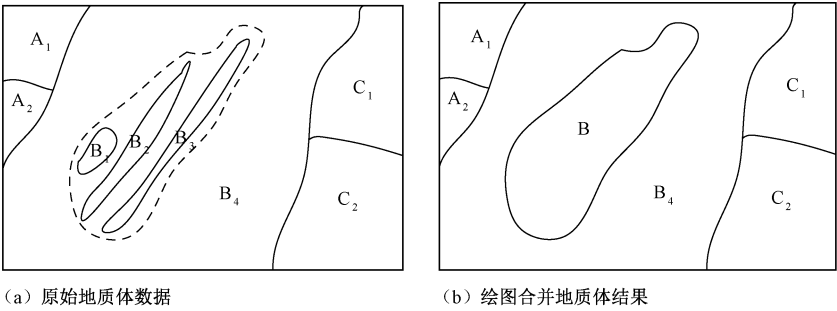


图 4 绘图合并原理图（属性相同）

Fig. 4 Diagram of merging geologic bodies with the same property into a drawn bigger polygon. (a) Original small geologic bodies with the same properties. (b) Merging small geological units with the same property into a drawn outer polygon

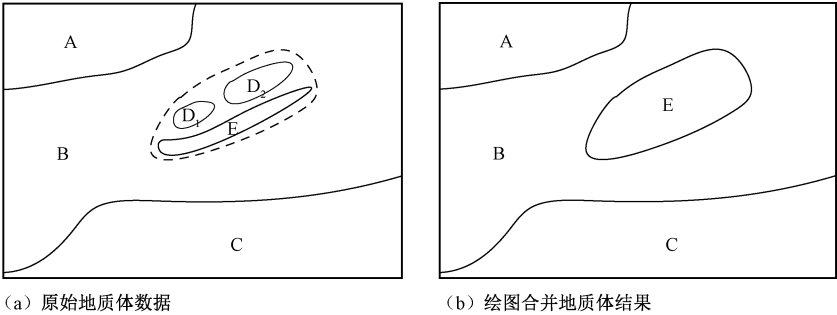


图 5 绘图合并原理图（属性相近）

Fig. 5 Diagram of merging geologic bodies with similar properties into a drawn bigger polygon. (a) Original small geologic bodies with similar properties. (b) Merging small geologic bodies with similar properties into a drawn outer polygon

3 数据验证及效果分析

3.1 实现技术

地质体智能综合算法集成了地质、地学信息、

计算机、制图等多领域的交叉学科技术（王杨刚等，2019；何文娜等，2020b），以软件功能形式呈现和使用。地质体智能综合算法模块基于 MapGIS K10 桌面组件，使用 Visual Studio 2013 作为开发工具，采用面向对象程序设计语言 C#编程

实现, 数据库采用易于移动的 Access。此外, 还基于 ArcGIS Engine 10. X 开发了 ArcGIS 版智能地质编图软件。

3.2 实验数据

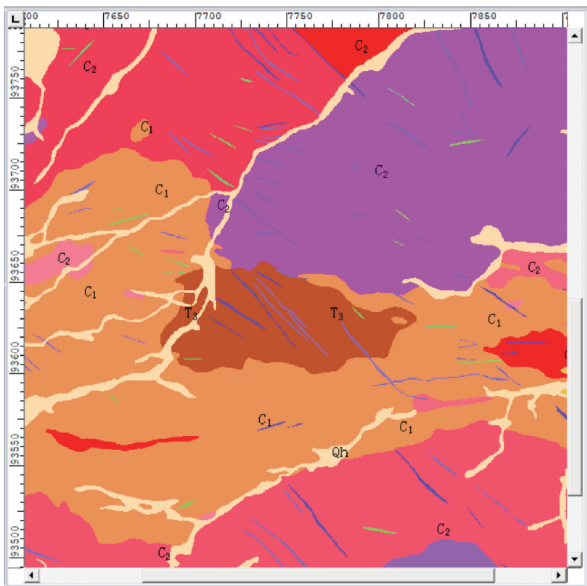
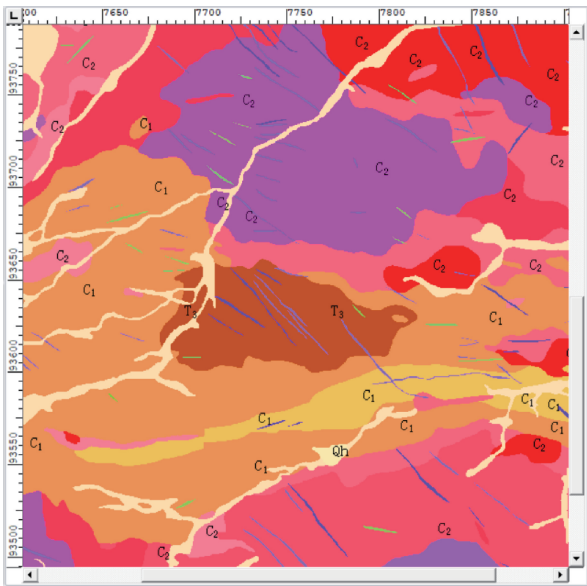
以中国地质调查局提供的 1:5 万的内蒙古北山地区双红山幅 (K47E010007) 和青山幅 (K47E011007) 两幅地质图作为实验数据 (双红山幅包含 621 个图元、青山幅包含 366 个图元), 开展地质约束条件下的地质体智能综合算法验证。两幅数据使用西安 1980 坐标系、投影类型为高斯-克吕格 (横切椭圆柱等角) 投影、数据格式为 MapGIS, 地质体图层的属性含有地质年代、地质代号、地质单位名称、子类型标识、重要性标识等主要字段。对两幅地质图数据配套报告进行深入分析, 从中提取出地质专家知识, 整理并保存在按上述属性建立的结构化的地质演

化关系表中, 导入到数据库后由地质体智能综合模块自动调用。

3.3 效果分析

(1) 同属性合并

采用青山幅 (K47E011007) 作为输入数据, 以地质年代作为综合字段进行同属性合并实验 (李铁钢, 2004; 徐志刚等, 2020; 董培培, 2021)。对比合并前后的图件 (图 6) 可以看到, 图幅上部地质年代为晚石炭世 (C_2) 的多个地质体全部被合并, 中下部地质年代为早石炭世 (C_1) 的若干个地质体亦被合并为一个整体, 地质体的数量明显减少, 图面表达更为简洁。“一键操作”的同属性合并功能在地质知识驱动下完成, 即基于原始数据、目标数据之间地质代号、地质年代等地质专家知识的约束, 对原始地质体进行空间要素、属性数据的智能化高效合并。



(a) 原始数据
 C_1 —早石炭世; C_2 —晚石炭世; T_3 —晚三叠世; Qh—全新世

图 6 同属性合并效果对比图

Fig. 6 The original geologic body data (a) vs. the merging result of geologic bodies with the same properties (b)
 C_1 —the early Carboniferous; C_2 —the late Carboniferous; T_3 —the late Triassic; Qh—the Holocene

(2) 交互式选择合并

以双红山幅 (K47E010007) 数据为源数据, 对其开展人机交互选择的地质体合并操作。选择多个地质年代为早石炭世 (C_1) 的小地质体 (图 7a), 并将其综合成一个新的地质体的结果 (图 7b), 其他未涉及的地质体则不受影响。

(3) 绘图合并

以双红山幅 (K47E010007) 作为原始数据

(图 8a), 在图中地质代号为 $\gamma\pi$ (花岗斑岩脉) 的两个小地质体外围绘制多边形, 综合效果显示在图 8b 中; 亦可用两个小地质体的外包络线生成新地质体实现综合。综合后的地质体属性要符合该区域的地质规律, 可继承某个小地质体的属性 (如地质代号) 或赋以新值。以图 9a 为例, 地质代号为 $\gamma\pi$ 的地质体与其邻近地质代号为 $\eta\gamma$ (二长花岗岩) 的地质体合并后, 目标地质体的地质

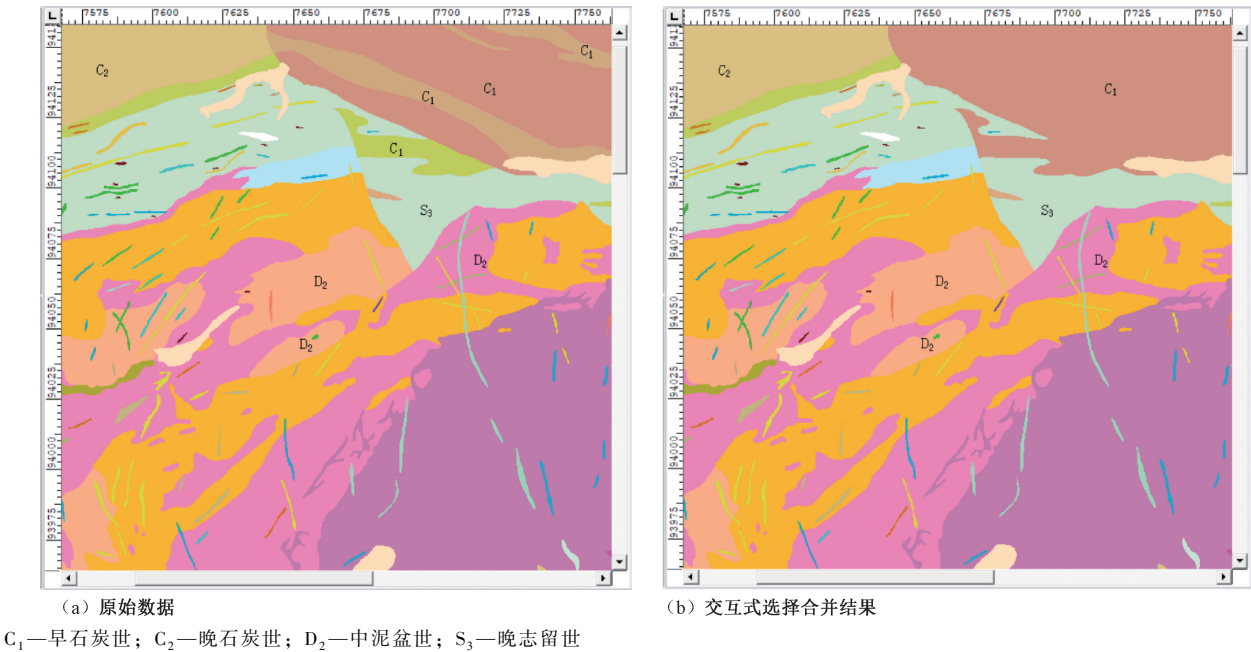


图 7 交互式选择合并效果对比图

Fig. 7 The original geologic body data (a) vs. the merging result of selected geologic bodies

C_1 —the early Carboniferous; C_2 —the late Carboniferous; D_2 —the middle Devonian; S_3 —the late Silurian

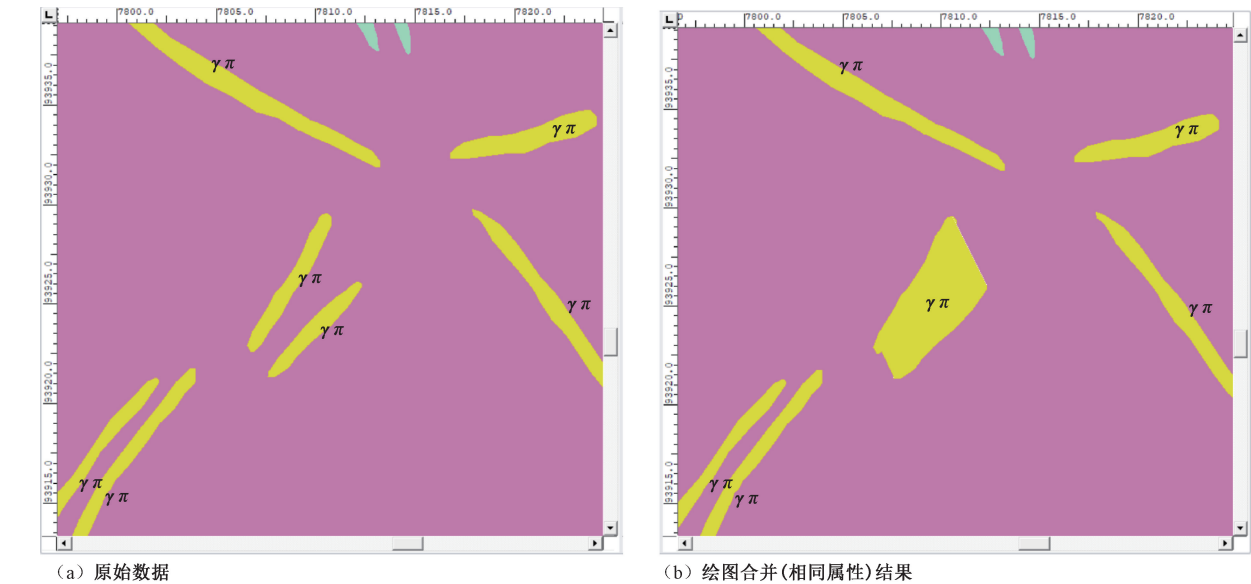


图 8 绘图合并效果对比图 (属性相同)

Fig. 8 The original geologic body data (a) vs. the merging result of small gologic bodies with the same property into a drawn outer polygon (b)

$\gamma\pi$ —granitic porphyry dike

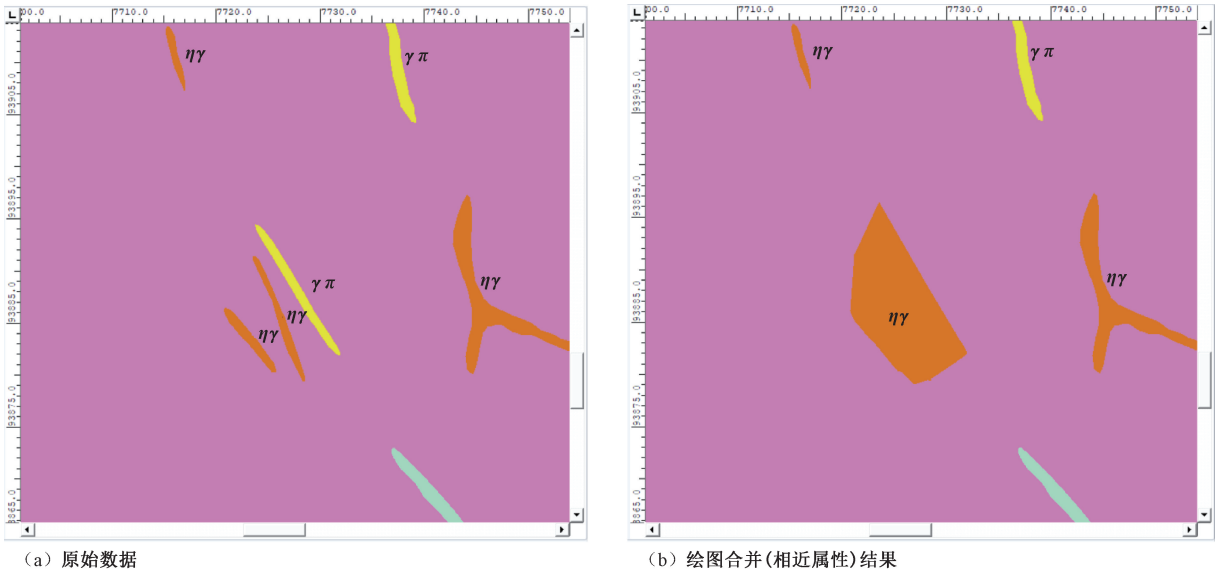
代号为 $\eta\gamma$ (图 9b)。

4 结论

(1) 为了提高地质图编制过程中地质体的合

并速度, 文章提出了地质约束条件下的地质体智能合并方法, 设计了基于地质专家知识的地质体智能综合框架。

(2) 以地质专家知识为核心约束条件, 设计了同属性合并、交互式选择合并、绘图合并三种



γπ—花岗斑岩脉; γγ—二长花岗岩

图 9 绘图合并效果对比图 (属性相近)

Fig. 9 The original geologic body data (a) vs. the merging result of small gologic bodies with similar properties into a drawn outer polygon (b)

γγ—granitic porphyry dike; γγ—monzonitic granite

主要的地质体综合方法, 基于 MapGIS 实现了桌面版地质体智能综合模块。

(3) 采用北山地区两幅 1:5 万的地质图作为数据源, 对地质体的智能综合模块进行验证, 经测试地质体智能综合方法几何形态符合地质规律、地质知识数据映射结果正确, 可极大提升地质体综合效率。

目前, 地质体智能综合模块已在智能地质编图软件中发布且已投入使用, 后续将继续完善和增加新的地质体、地质界线等综合模块, 为地质图编制人员提供了更大便利。

References

AI T H, 2016. Development of cartography driven by big data [J]. Journal of Geomatics, 41 (2): 1-7. (in Chinese with English abstract)

CHEN Y Y, HOU D H, PAN Z L, et al., 2021. Practice of intelligent mapping of basic geological maps in typical areas: an example of 1:250000 Tianshuijin Mapping in Beishan area [J/OL]. Geological Bulletin of China: 1-16. (2021-01-21) [2021-02-22]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.4648.P.20210121.1054.004.html>. (in Chinese with English abstract)

DONG P P, Li Y J, Wang G H, et al, 2021. Geological and chronological characteristics of the Baiyin' gaolao Formation in Gaoyaowula, Inner Mongolia [J]. Journal of Geomechanics, 27 (1): 135-152. (in Chinese with English abstract)

HE W N, ZHU C Q, WANG Y Z, et al., 2019. iMapower: an intelligent system for geological mapping based on MapGIS [J]. Progress in Geophysics, 34 (5): 2030-2036. (in Chinese with English abstract)

HE W N, ZHU C Q, LI Y C, et al., 2020a. Intelligent geological map generalization based on ArcGIS [J]. Progress in Geophysics, 35 (2): 728-734. (in Chinese with English abstract)

HE W N, ZHU C Q, LI Y C, et al., 2020b. An intelligent generalization method of geological body for MapGIS geological map downsizing [J]. Geological Bulletin of China, 39 (6): 871-879. (in Chinese with English abstract)

HUANG H, LU Y M, LI Y C, et al., 2021. Technology and its Applications of geological map intelligent generalization based on the multivariate geological knowledge and model of geological mapping [J/OL]. Geological Bulletin: 1-12. (2021-01-20) [2021-02-22]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.4648.P.20210120.1056.004.html>. (in Chinese with English abstract)

HUANG X W, XUE Y T, ZHANG Z L, 2020. Research on BIM Technical Method of Railway Engineering Geology [J]. Railway Investigation and Surveying, 46 (1): 141-143, 149. (in Chinese with English abstract)

KE X, DING X Z, HAN K Y, et al., 2008. Method for the construction of the geological map database based on MapGIS: example from the 1:1 M geological map database of China [J]. Journal of Geomechanics, 14 (2): 186-196. (in Chinese with English abstract)

LI L, 2018. The application and improvement of iMapower in compiling a geologic map of the scale 1:250,000 [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing). (in Chinese with English abstract)

- abstract)
- LI T D, 2011. Status and characteristics of international geological mapping [C] //Proceedings of the National Symposium on Geological Mapping and GIS. Kunming: Geological Society of China, Geological Society of Yunnan Province: 1-11. (in Chinese with English abstract)
- LI T G, 2004. The practice of book editing [M]. Beijing: Geology Press. (in Chinese)
- LI Y C, 2020. Integrated intelligent mapping system for Geological Survey and its application [R]. Beijing: Development Research Center, China Geological Survey Bureau. (in Chinese with English abstract)
- LI Y C, WANG Y Z, CHEN Y Y, et al., 2020. Intelligent geological mapping: A novel pattern for smart geological compilation [J]. Geological Bulletin of China, 39 (6): 861-870. (in Chinese with English abstract)
- LIU L G, XUE H L, YAO X C, 2011. A method to downsize land use map by using ArcGIS software [J]. Bulletin of Surveying and Mapping (9): 62-65. (in Chinese with English abstract)
- LIU S N, LI T G, 2014. Digital geological mapping [M]. Beijing: Geology Press. (in Chinese with English abstract)
- MENG X H, HU Y R, WANG Y Z, et al., 2020. A method for merging geological bodies with same attribute based on ArcGIS and geological expert knowledge [J]. Journal of Inner Mongolia University of Technology, 39 (4): 273-278. (in Chinese with English abstract)
- WANG J Y, 2005. Research on cartography and geographic information engineering [M]. Beijing: Science Press. (in Chinese with English abstract)
- WANG J Y, QIAN H Z, 2006. Cartographic-generalization-knowledge and its application [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 31 (5): 382-386, 439. (in Chinese with English abstract)
- WANG J Y, LI Z L, WU F, 2011. Advances in digital map generalization [M]. Beijing: Science Press. (in Chinese with English abstract)
- WANG J Y, SUN Q, WANG G X, et al., 2014. Principles and methods of cartography [M]. 2nd ed. Beijing: Science Press. (in Chinese with English abstract)
- WANG Y G, HAO L R, HUANG H, et al., 2019. Research on geological map compilation technology based on spatial data and geological knowledge [J]. Geological Bulletin of China, 38 (12): 2067-2076. (in Chinese with English abstract)
- WANG Z L, ZHANG X H, WEN Z H, et al., 2012. Current status and future trend of geological map compilation [J]. Marine Geology Frontiers, 28 (1): 21-29. (in Chinese with English abstract)
- WENG Z P, 2013. Fast building and refreshing three-dimensional models of geological entity [D]. Wuhan: China University of Geosciences (Wuhan). (in Chinese with English abstract)
- WINCHESTER S, 2002. The map that changed the world: William Smith and the birth of modern geology [M]. New York, NY: Perennial.
- WU F, GONG X Y, DU J W, 2017. Overview of the research progress in automated map generalization [J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 46 (10): 1645-1664. (in Chinese with English abstract)
- WU H H, 2012. Basic Model and Algorithm for GIS and map information synthesis [M]. Wuhan: Wuhan University Press. (in Chinese with English abstract)
- XU Z G, WANG Y, CHEN Z H, et al., 2020. Mapping ideas and methods for the provincial “Mineral Geological Map” and “Minerogenic Map” in the “Geology of Mineral Resources of China” [J]. Acta Geologica Sinica, 94 (1): 303-325. (in Chinese with English abstract)
- YANG X C, WU Z H, ZHANG S M, et al., 2020a. Current status of geological map database and future perspectives of geological mapping [J]. Geological Journal of China Universities, 26 (1): 100-110. (in Chinese with English abstract)
- YANG X C, YE M N, YE P S, et al., 2020b. Information construction method of geological survey projects based on digital mapping technology [J]. Journal of Geomechanics, 26 (2): 263-270. (in Chinese with English abstract)
- YING S, LI L, 2003. Knowledge Representation of cartographic generalization [J]. Journal of Geomatics, 28 (6): 26-28. (in Chinese with English abstract)
- YOU J Q, LI D J, ZOU S W, 2015. Studies of small map delineation integration in map generalization [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 43 (6): 354-356, 376. (in Chinese with English abstract)
- ZHANG S K, NI J Y, GAO W L, et al., 2009. Study on the technology and method of 3D geological modeling: a case study of the east Kunlun Orogenic belt [J]. Journal of Geomechanics, 15 (2): 201-208. (in Chinese with English abstract)
- ZOU S W, ZOU S L, LI D J, et al., 2013. Methods improvement of small figure spot comprehensive in land use map downsizing [J]. Geospatial Information, 11 (1): 138-140. (in Chinese with English abstract)

附中文参考文献

- 艾廷华, 2016. 大数据驱动下的地图学发展 [J]. 测绘地理信息, 41 (2): 1-7.
- 陈圆圆, 侯德华, 潘志龙, 等, 2021. 典型地区基础地质图智能编图实践: 以北山地区 1:25 万甜水井幅为例 [J/OL]. 地质通报: 1-16. (2021-01-21) [2021-02-22]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.4648.P.20210121.1054.004.html>.
- 董培培, 李英杰, 王根厚, 等, 2021. 内蒙古高尧乌拉白音高老组地质及年代学特征 [J]. 地质力学学报, 27 (1): 135-152.
- 何文娜, 朱长青, 王永志, 等, 2019. 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, 34 (5): 2030-2036.
- 何文娜, 朱长青, 李仰春, 等, 2020a. 基于 ArcGIS 的智能地质图综合 [J]. 地球物理学进展, 35 (2): 728-734.
- 何文娜, 朱长青, 李仰春, 等, 2020b. 智能地质体综合技术在地质图缩编中的应用 [J]. 地质通报, 39 (6): 871-879.
- 黄辉, 路彦明, 李仰春, 等, 2021. 基于多元知识和编图模型的智能

地质编图技术及其应用 [J/OL]. 地质通报: 1-12. (2021-01-20) [2021-02-22]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.4648.P.20210120.1056.004.html>.

黄新文, 薛宇腾, 张忠良, 2020. 铁路工程地质 BIM 技术方法研究 [J]. 铁道勘察, 46 (1): 141-143, 149.

柯学, 丁孝忠, 韩坤英, 等, 2008. 基于 MAPGIS 建立地质图数据库的方法: 以全国 1:100 万地质图数据库为例 [J]. 地质力学学报, 14 (2): 186-196.

李丽, 2018. iMapower 在 1:25 万地质编图中的应用及其改进 [D]. 北京: 中国地质大学 (北京).

李廷栋, 2011. 国际地质编图现状和特点 [C] //全国地质制图与 GIS 学术论坛论文集. 昆明: 中国地质学会, 云南省地质学会: 1-11.

李铁钢, 2004. 图书编辑工作实务 [M]. 北京: 地质出版社.

李仰春, 王永志, 陈圆圆, 等, 2020. 智绘地质: 新一代智能化地质编图模式及应用 [J]. 地质通报, 39 (6): 861-870.

刘立国, 薛红琳, 姚新春, 2011. 浅谈借助 ArcGIS 软件进行土地利用现状图缩编的方法 [J]. 测绘通报 (9): 62-65.

刘素楠, 李通国, 2014. 数字化地质制图 [M]. 北京: 地质出版社.

孟祥卉, 胡越然, 王永志, 等, 2020. 基于 ArcGIS 和地质专家知识的同属性合并方法 [J]. 内蒙古工业大学学报, 39 (4): 273-278.

王家耀, 2005. 地图学与地理信息工程研究 [M]. 北京: 科学出版社.

王家耀, 钱海忠, 2006. 制图综合知识及其应用 [J]. 武汉大学学报·信息科学版, 31 (5): 382-386, 439.

王家耀, 李志林, 武芳, 2011. 数字地图综合进展 [M]. 北京: 科学出版社.

王家耀, 孙群, 王光霞, 等, 2014. 地图学原理与方法 [M]. 2 版. 北京: 科学出版社.

王杨刚, 郝丽荣, 黄辉, 等, 2019. 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, 38 (12): 2067-2076.

王忠蕾, 张训华, 温珍河, 等, 2012. 地质编图研究现状及发展方向 [J]. 海洋地质前沿, 28 (1): 21-29.

翁正平, 2013. 复杂地质体三维模型快速构建及更新技术研究 [D]. 武汉: 中国地质大学 (武汉).

武芳, 巩现勇, 杜佳威, 2017. 地图制图综合回顾与展望 [J]. 测绘学报, 46 (10): 1645-1664.

毋河海, 2012. GIS 与地图信息综合基本模型与算法 [M]. 武汉: 武汉大学出版社.

徐志刚, 王岩, 陈郑辉, 等, 2020. 中国矿产地质志省级“矿产地质图”和“成矿规律图”的编图思路和编图方法 [J]. 地质学报, 94 (1): 303-325.

杨星辰, 吴珍汉, 张素梅, 等, 2020a. 地质图数据库现状与地质制图发展趋势 [J]. 高校地质学报, 26 (1): 100-110.

杨星辰, 叶梦旎, 叶培盛, 等, 2020b. 地质调查成果信息化建设方法探索: 基于数字填图技术 [J]. 地质力学学报, 26 (2): 263-270.

应申, 李霖, 2003. 制图综合的知识表示 [J]. 测绘信息与工程, 28 (6): 26-28.

游晋卿, 李大军, 邹胜武, 2015. 地图缩编中小图斑综合问题研究 [J]. 安徽农业科学, 43 (6): 354-356, 376.

张思科, 倪晋宇, 高万里, 等, 2009. 三维地质建模技术方法研究: 以东昆仑造山带为例 [J]. 地质力学学报, 15 (2): 201-208.

邹胜武, 邹时林, 李大军, 等, 2013. 土地利用图缩编中小图斑综合方法的改进 [J]. 地理空间信息, 11 (1): 138-140.

开放科学 (资源服务) 标识码 (OSID):

可扫码直接下载文章电子版, 也有可能听到作者的语音介绍及更多文章相关资讯

