

doi: 10. 11720/wtyht. 2022. 1111

张琦洁, 闫红雨, 张婷婷, 等. 基于空间分析的航空物探专题底图制作方法——以达州—华蓥测区为例[J]. 物探与化探, 2022, 46(5): 1251-1257. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2022.1111>

Zhang Q J, Yan H Y, Zhang T T, et al. The method of making the airborne geophysical thematic base-map based on spatial analysis: Exemplified by the Dazhou-Huaying survey area[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2022, 46(5): 1251-1257. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2022.1111>

# 基于空间分析的航空物探专题底图制作方法 ——以达州—华蓥测区为例

张琦洁<sup>1,2</sup>, 闫红雨<sup>1</sup>, 张婷婷<sup>3</sup>, 吴云<sup>1</sup>, 高姗<sup>1</sup>

(1. 中国自然资源航空物探遥感中心, 北京 100083; 2. 自然资源部 航空地球物理与遥感地质重点实验室, 北京 100083; 3. 中国地质大学(北京) 土地科学技术学院, 北京 100083)

**摘要:** 地理底图是航空物探专题图的重要基础环节及组成部分, 但以往人工手动抽稀处理方法较为繁琐。本文对航空物探专题底图的作用和现状问题进行分析, 引入空间分析方法, 借助 1:25 万公众版地形数据库进行规划底图编制实践, 完成地理要素矢量化。以四川省达州—华蓥测区为例进行测试, 证实该方法制作的地理底图简便实用, 相比以往处理方法, 更加智能化, 且制作成果快速准确, 符合相关精度要求; 此方法为航空物探专题图的精准制作提供了有力支撑, 方便用户使用, 同时也为航空物探的发展奠定了一定基础。

**关键词:** 空间分析; 航空物探; 地理底图; GIS

**中图分类号:** P631

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-8918(2022)05-1251-07

## 0 引言

地理底图是航空物探图件的重要基础部分, 对航空物探专题图起着定位定向作用。但其信息量较多, 直接用于航空物探专题图中易造成主次不清, 压盖主要信息的问题<sup>[1-4]</sup>。如何根据需求快速获得所需地理信息, 方便用户使用, 提高质量及精度成为航空物探地理底图编制的研究重点。

目前国内外关于制作航空物探专题底图还未形成一套完整流程, 对其制作方法的研究也较少, 以往航空物探底图制作一般通过收集所需矢量地图数据文件及纸介质地图资料, 由人工在画纸上描绘底图<sup>[5-6]</sup>。进入信息化时代后, 地理信息的出现解放了部分人力, 由传统的手绘底图改为电子化制作, 制图人员一般采用以下方法: 将所收集的底图扫描至电子版, 借助 MapGIS 等专业软件, 通过比例尺变

换、投影变换等方式校正底图文件, 根据要素类别逐一对其进行矢量化, 得到最终所需的地理底图。此方法在制作过程中耗费大量的人工, 且在矢量化过程中, 存在较强人为因素, 误差较大<sup>[7-9]</sup>。2010 年, 国家测绘局公开向社会发布 1:25 万公众版地形数据库成果, 在经过一系列脱密处理后, 供社会各界参考及出版使用, 在此基础上不断更新, 该数据应用性广且实用性极强。自此之后, 航空物探底图制作方法演变为借助此数据, 针对不同比例尺, 根据属性信息对各地理要素(居民点、居民区、湖泊、河流、道路、境界线等)手动逐步抽稀、转换及渲染。该方法虽节省了部分人工, 但效率极低, 且数据还原度不高。

空间分析是以一种定量统计方式对点、线、面的分布方式进行分析的方法, 近几年被广泛应用在各个领域中, 目前国内外许多学者都对其进行了深入研究<sup>[10-13]</sup>。徐斌等<sup>[14]</sup>利用空间分析模型进行了地

收稿日期: 2021-03-02; 修回日期: 2021-08-23

基金项目: 自然资源部航空地球物理与遥感地质重点实验室课题(2020YFL10)

第一作者: 张琦洁(1993-), 女, 毕业于中国地质大学(北京)地质工程专业, 主要从事航空物探数据处理与制图工作。Email: agrszhangqj@163.com

通讯作者: 高姗(1988-), 女, 毕业于武汉大学地图学与地理信息系统专业, 主要从事航空物探数字制图理论与应用工作。Email: shannely@163.com

下水化学类型分区,更好地反映了地下水化学类型的空间演化特征。金鑫等<sup>[15]</sup>建立良渚古城遗迹空间数据库,实现空间数据和属性数据的一体化,为考古遗址提供新的思路。笔者提出将其与航空物探底图制作相结合,以四川省达州—华蓥测区为例,展示空间分析技术在航空物探调查专题底图中的具体应用,实现空间数据与属性数据的一体化,满足用户的需求。该研究成果大大简化了地理底图编制流程,提高了航空物探专题图件的制作效率,同时也为 1:25 万地形数据库的应用提供了参考。

1 研究区概况及研究路线

本文所选研究区达州—华蓥测区位于四川盆地东北部,具体经度范围为 106°55′~107°55′,纬度范围为 29°55′~31°05′;行政区划主要隶属于达州市、广安市等,东南部分跨及重庆市垫江、梁平等地,研究区东西长约 96 km,南北宽约 129 km,总面积约 12 432 km<sup>2</sup>,地势北东高南西低。从气候上看,该区属于亚热带湿润季风气候,气候温暖,四季分明,日照充分,雨量丰沛。交通方面,研究区内公路网及铁路网发达,有多条高速公路及重要运输铁路线,各乡镇之间也有公路相通,交通较为便捷。水运方面,研究区重要河流较多,河流发育,有多条长江支流,区内其余次级水系多呈树枝状分布,年均径流量大(图 1)。

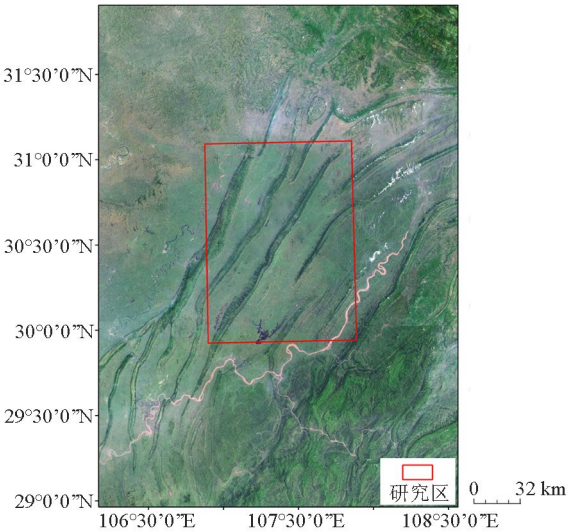


图 1 研究区位置示意

Fig. 1 The position diagram of study area

航空物探专题底图要素由公路、铁路、境界线、河流、湖泊、居民点、居民区 7 个要素组成,针对不同要素的特点,研究方法略有不同,具体方法如图 2 所示。

2 空间分析原理

空间分析是地理信息系统的重要支柱,有助于识别数据的趋势,创建数据中的关联关系,并能更好地解决数据集之间的复杂关系。在 GIS 中,空间分析有助于提取 GIS 数据层之间的空间关系。它可以

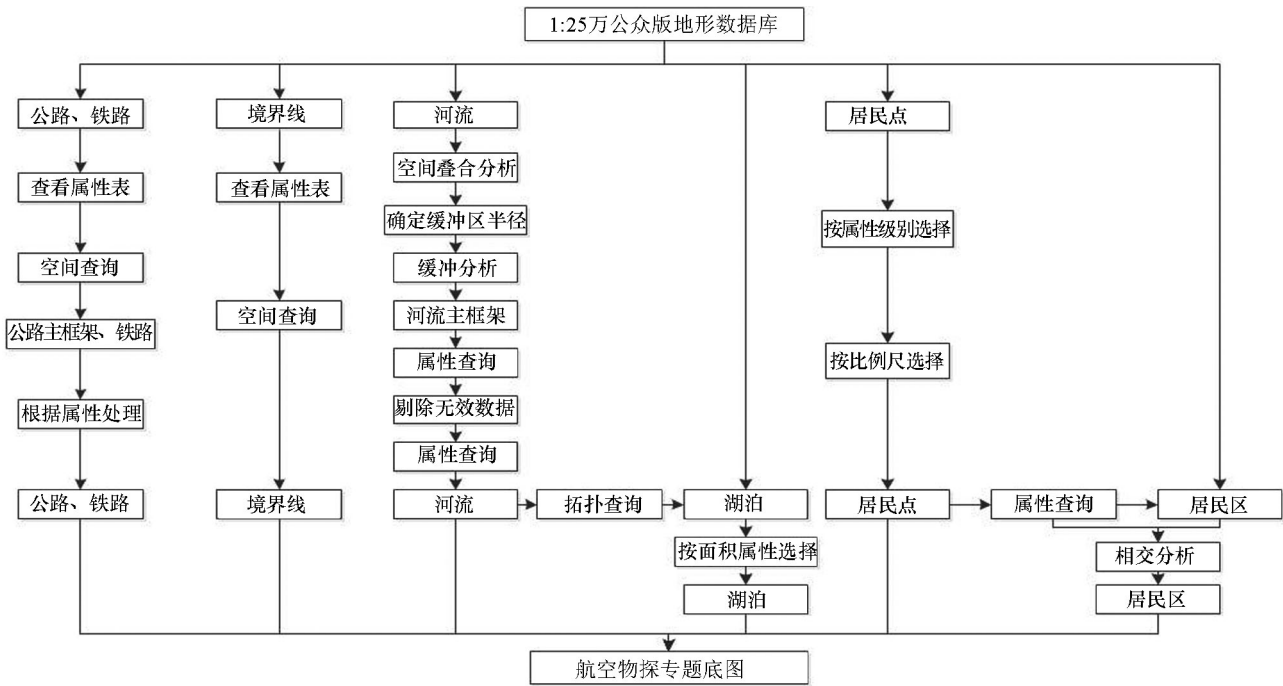


图 2 航空物探专题底图制作路线

Fig. 2 Making road-map of special base map of aerial geophysical exploration

涉及空间、数值及单个数据层或数据集之间的统计分析。

空间查询包括按属性查询及 GIS 中的几何查询。属性数据描述了数据的空间特征,可以以特定特征进行查询。几何查询有 5 种原始形式:按点查询、按矩形查询<sup>[16-17]</sup>、按线查询、按圆查询及按多边形查询<sup>[18]</sup>。将空间查询方法与航空物探专题底图相结合,便于地理要素的快速查询及属性更改等,提高工作效率。

缓冲区分析是空间分析方法中较常使用的一种<sup>[19]</sup>,对于水系等线要素,一般是以其为中心轴线,生成距离中心轴线固定距离的多边形以供使用。在数学上定义缓冲区为:设  $P$  为一点或一组点,一条线或由点组成的区域,则  $B(P, h)$  是距  $P$  中所有距离为  $h$  点的缓冲区,即:

$$B(P, h) = \{q \mid d(p, q) \leq h\}, p \in P,$$

式中: $d(p, q)$  为最小欧氏距离<sup>[20]</sup>。

缓冲区分析代表了地理空间目标的一种影响程度<sup>[20]</sup>,对于解决水系等线要素的邻近度问题提供了一个很好的工具。

空间叠合分析是指将同一个空间参照系统下的两个或多个图层进行叠加,对于底图中矢量数据,叠加分析包括点与面、线与面、面与面 3 种,叠合方式有合并、相交、擦除、裁剪等。通过将不同要素进行空间叠合分析,可以更快速选取所需底图信息。

### 3 专题底图制作方法

#### 3.1 数据收集

本文利用公众版 1:25 万全国地形数据库进行分类整合,该数据的完整性及精确性等均符合国家测绘局制定的有关技术规定和要求,质量可靠。研究区原始 1:25 万地形资料数据采用 2000 国家大地坐标系,1985 国家高程基准,共由 9 个数据类组成,包括公路、河流、居民区、居民点等专业信息,数据原始存储格式为 .gdb,每个数据类文件类型为 .shp 格式。研究区内原始底图如图 3 所示。

#### 3.2 技术方法

##### 3.2.1 空间分析在水系网中的应用

水系要素一般根据航空物探专题图的性质、用途、比例尺及地区水文特点进行选择。通过图 4 对比发现,1:25 万公众版地形数据库的水系要素完整丰富,但将其直接用于航空物探专题图中,信息较为繁琐。1:400 万公开版地形数据库的水系具有明确

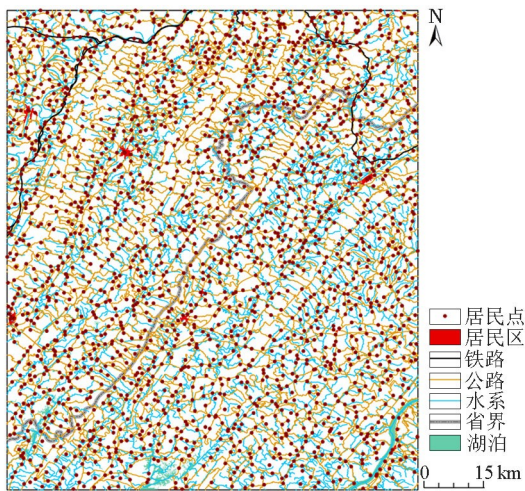


图 3 研究区原始 1:25 万公众版地形

Fig. 3 The original 1:250,000 public edition topographic map of the study area

等级及详细水系名称,且密度满足中等比例尺航空物探地理底图主要水系编制需要,但其制作时间较早,未满足时效性要求,且其精度较低,不能满足 1:25 万成果图制作要求。本研究在两者基础上提出应用缓冲区分析方法对水系进行抽稀处理。

以 1:400 万地形数据库水系要素为模板,应用空间叠合分析方法,将其与 1:25 万地形数据库水系要素进行空间位置匹配,做缓冲区分析。缓冲区半径的设定对后续工作的影响较大,通过多次实验分析,对研究区内水系建立不同缓冲区半径的效果如图 5 所示。

通过对比发现,当缓冲区半径设为 500 m 时效果最佳,既能保持原始河流的完整性,又能最大限度减少河流枝杈数量,保证筛选后的水系无枝丫、无毛刺,粗略筛选出主要水系。缓冲区分析后剩余的河流枝杈处理一般较为繁琐,本文借助空间查询方法,以 NAME 和 LENGTH 字段选定小区域,逐步进行筛选,通过属性字段剔除远离主要水系的明显无效数据。

在对湖泊等面状水系要素提取时,本文提出以湖泊与河流的拓扑关系为选取准则,按位置选取湖泊数据,以最大限度保证每条湖泊入河。根据属性数据,按面积进行筛选,保留大小适宜的湖泊、水库、岛屿等数据。因专题图中湖泊要素一般需要标注名称等信息,删除上述要素 NAME 字段为空的数据。检查湖泊、水库、岛屿等数据,保证保留标志性水域信息。通过实验证明,该方法处理所得到的水系网,操作流程简单且结果准确可靠,精度满足专题图要求。



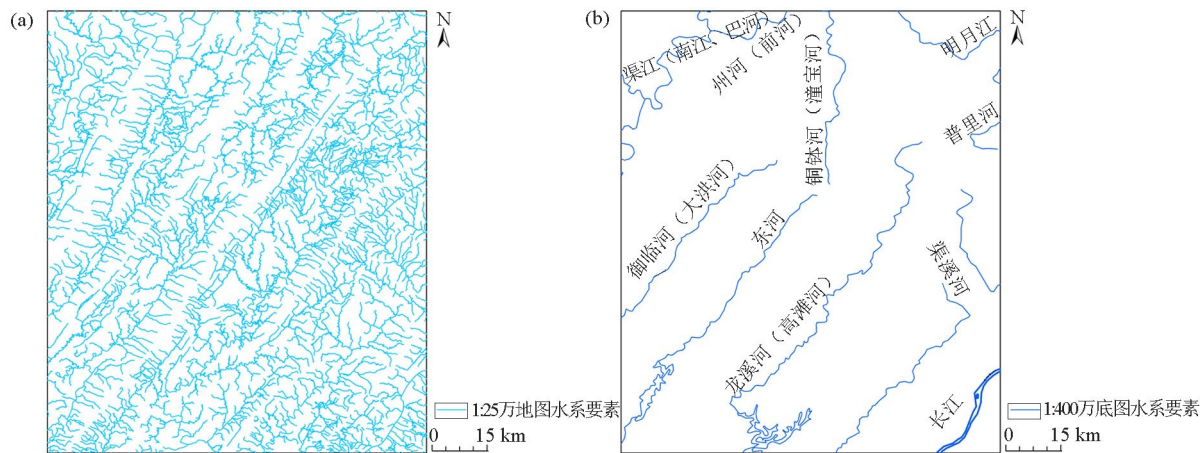


图 4 1:25 万地形数据库 (a) 与 1:400 万地形数据库 (b) 水系要素对比

Fig. 4 Part of the 1:250,000 terrain data (a) and 1:4,000,000 terrain data (b) comparison map

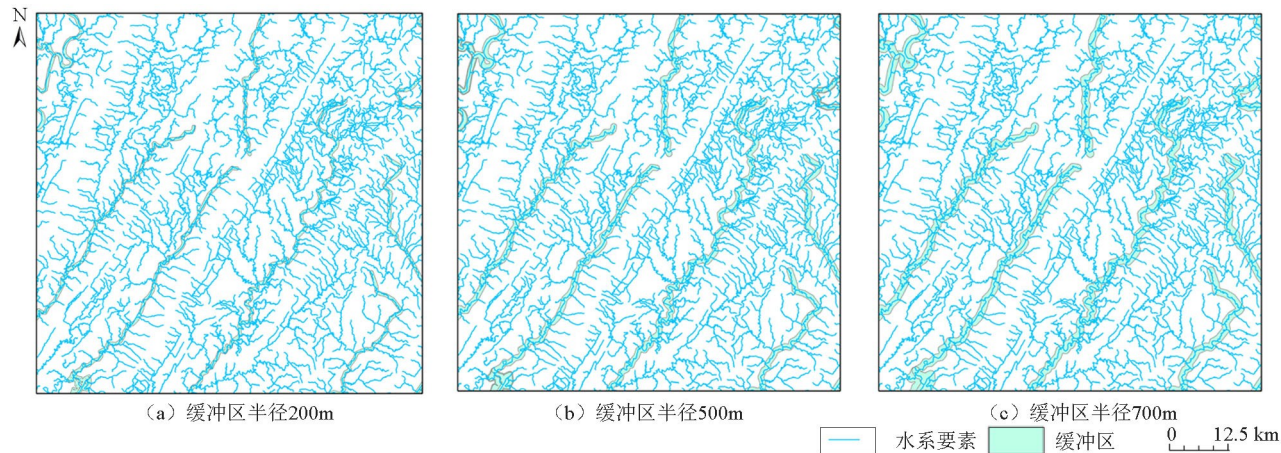


图 5 研究区内水系建立不同缓冲区半径 200 m (a)、500 m (b)、700 m (c) 对比效果

Fig. 5 Comparative effects of different buffer radius of 200 m (a) , 500 m (b) and 700 m (c) established by river systems in the study area

3.2.2 空间分析在道路网中的应用

道路网主要包括铁路、公路、其他道路 3 大类,选择和编绘一般按照级别顺序,即先铁路,后公路,次要公路,其他道路视地区特点作网状补充。

铁路级别较高,一般选择全部保留,特殊情况下可通过属性信息提取选取。公路及其他要素的筛选采用以下方法:

公路的属性字段如表 1 所示,主要包括 GB、NAME、RTEG 等信息,研究区内高速公路共 44 条,一级公路 2 条,二级公路 330 条,三级公路 406 条,其余均为四级及等外级等公路;根据该地交通特点,按照保留国家级与省级公路的原则提取框架,将符合表达式:“RTEG”= ‘高速’ OR “RTEG”= ‘一级’ 的公路信息保留。经过提取后的公路信息如图 6 所示,疏密度已满足航空物探专题图的要求。

应用空间属性分析方法,初步删除远离所留公路的明显无效数据,减少数据量。在对数据进行粗

筛过程中,会有部分次要公路或其他公路因属性级别低被误删,为了对特定地区做网状补充,对保留下来的每一条公路进一步处理,补充不连续地段,并按属性字段剔除多余公路与毛刺。经过空间分析处理后的公路网,既能保证所保留公路均为高级别公路,又能满足航空物探专题图的制作规范要求。

3.2.3 空间分析在境界线中的应用

航空物探专题图中境界线的提取方法较为简单,根据国家测绘地理信息局颁布的 2012 版 1:25 万地形要素数据数据说明,应用属性查询,提取国界线及省界线,简便快捷。

3.2.4 空间分析在居民区中的应用

根据《航空物探数字制图与印刷技术规定》<sup>[21]</sup>,居民地在航空物探专题图中主要与成图比例尺有关,选取密度与成图比例尺成反比。选取方法可依据属性信息,按照由高级到低级,优先选取具有特殊意义的地名原则进行筛选。

表 1 1:25 万地形图公路属性信息

Table 1 The highway’s attribute information table of 1:250,000 topographic map

1	GB	NAME	RTEG	Shape_Leng	ORIG_FID	SHAPE_Le_1
2	420201	通江—宣汉	一级	0.00170017890	5008	0.00169542388
3	420201	通江—宣汉	一级	0.00230199256	5011	0.00229593183
4	420201	通江—宣汉	一级	0.04683150071	5019	0.04684986891
5	420201	通江—宣汉	一级	0.00835471695	5025	0.00837386937
6	420201	通江—宣汉	一级	0.02443377707	5026	0.02447806681
7	420201	通江—宣汉	一级	0.02828130656	5028	0.02834725660
8	420201	通江—宣汉	一级	0.00206513023	5030	0.00207049178
9	420201	通江—宣汉	一级	0.01464946695	5043	0.01468501124
10	420201	通江—宣汉	一级	0.02952304377	5110	0.02948628145
11	420201	通江—宣汉	一级	0.02442210091	5111	0.02447001613
12	420201	通江—宣汉	一级	0.00671646023	5120	0.00671460132

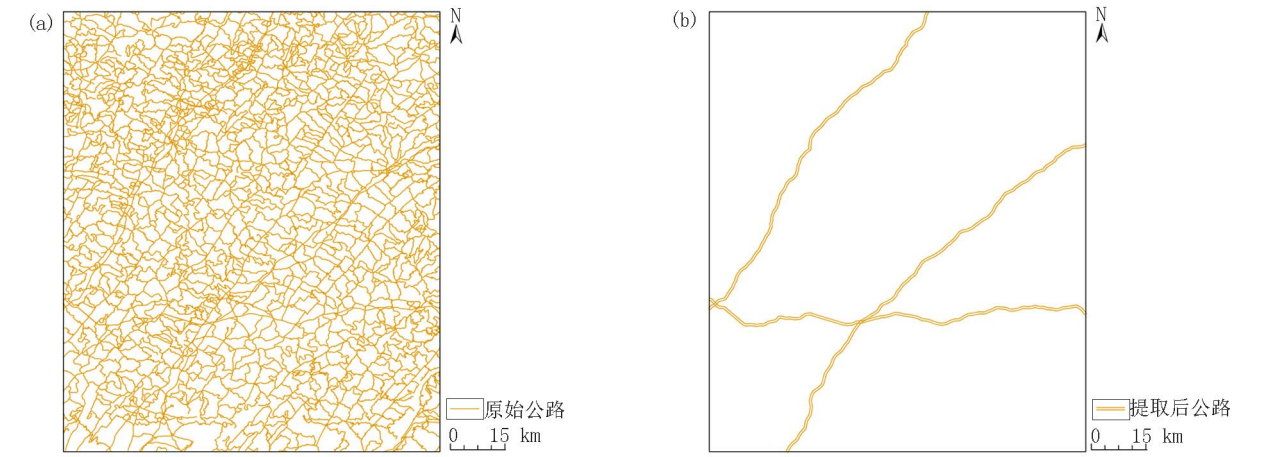


图 6 原始公路 (a) 及提取后公路 (b) 对比

Fig. 6 Contrast map of original highway (a) and extracted highway (b)

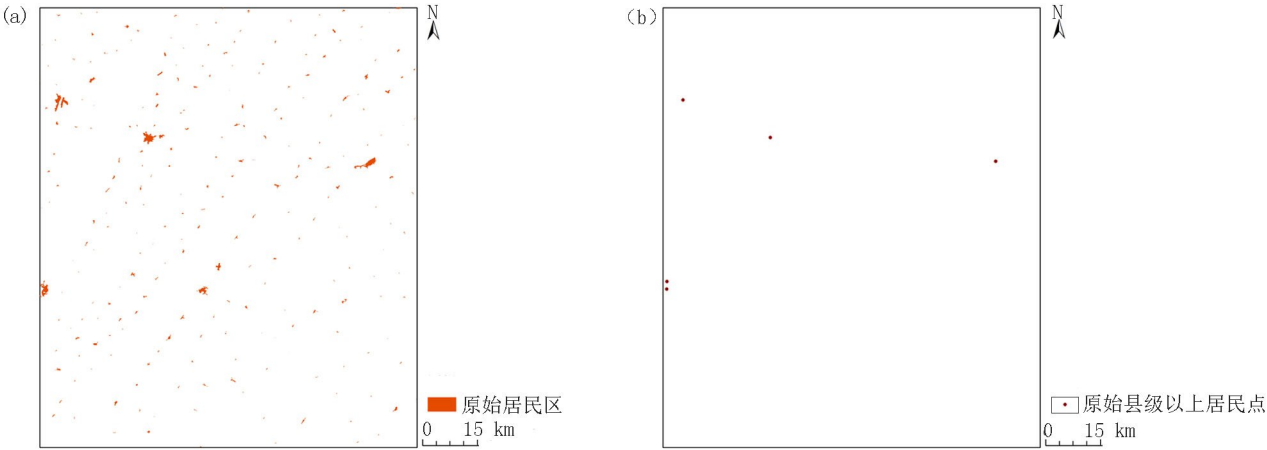


图 7 原始居民区信息 (a) 及提取后的居民点信息 (b)

Fig. 7 The original residential area information (a) and the extracted residential area information (b)

居民区要素由于缺少属性信息,无法根据上述原则选取,但可根据不同比例尺将所需居民点要素(图 7)选取后,引入空间查询方法,按照空间位置进

行选择。所需居民点及原始居民区要素如图 7 所示,以 1:25 万图件为例,根据属性信息查询,将符合表达式“GB”= ‘31030’ OR “GB”= ‘31060’ 的县及

其以上居民点保留。1:25 万地形数据库中原始居民区要素如图 7a 所示。保留后的县级以上居民点信息如图 7b 所示,应用空间属性分析方法,按位置信息进行筛选,选择相交空间分析方法,保留相交后的居民区要素。

通过上述空间分析方法抽稀处理,研究区航空物探专题底图各要素如图 8 所示。

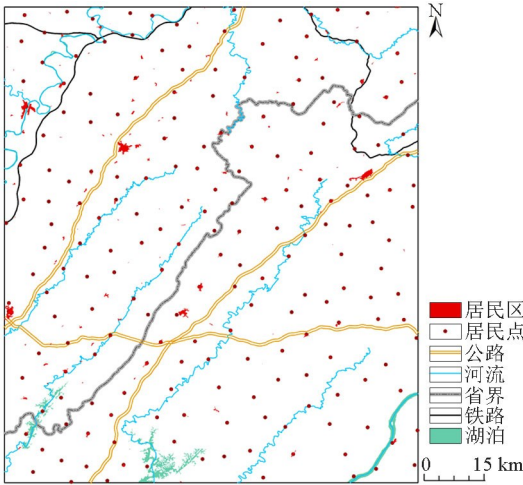


图 8 航空物探专题底图要素

Fig. 8 The elements for thematic base-map elements of airborne geophysical exploration

4 结论

应用空间分析方法制作航空物探专题底图,研究结果既做到内容充实、清晰易读、满足用户需求,又未压盖航空物探专业信息,符合规范要求。该研究成果大大节省了人工处理时间,进一步简化了处理流程,形成一套成熟的航空物探专题底图制作方法,同时减少了数据冗杂,为航空物探数字制图提供了新的方向,提升了工作能力,为其他领域专题底图的制作提供了一定的参考。

参考文献 (References) :

[1] 张新长,艾廷华. 专题地图地理底图数据库的结构设计[J]. 测绘通报,1994,(5):30-33.  
Zhang X C, Ai T H. Diagnostic system of vax computer and its application [J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 1994, (5): 30-33.

[2] 谢良珍. 地学专题图地理底图的编绘[J]. 第四纪研究,1993(3):260-267.  
Xie L Z. Compling the basic map of geography for the geoscience maps [J]. Quaternary Sciences, 1999(3): 260-267.

[3] 张宇婷. 基于多源数据的专题海图底图工艺方法研究[J]. 科学与信息化,2020(5):2-4.  
Zhang Y T. Research on process method of thematic chart base

chart based on multi-source data [J]. Education & Informatization, 2020(5): 2-4.

[4] Chen X, Cai Z, Li Y, et al. Application of automatic thematic mapping system driven by model (Artical) [J]. Journal of Geomatics, 2019, 44(2): 57-60.

[5] Paulo R, Guillaume T, Pia B. A change of theme: The role of generalization in thematic mapping [J]. ISPRS International Journal of GeoInformation, 2020, 9(6): 371.

[6] Bogdanova M D, Gerasimova M, Snytko V. Traditional approaches and new ideas of Maria Glazovskaya in thematic mapping [J]. Geodezia es Kartografia, 2019, 80(5): 54-62.

[7] 温珍河,张训华,杨金玉,等. 中国海域 1:100 万地质地球物理 MapGIS 制图[J]. 地球信息科学学报,2011,13(6):750-757.  
Wen Z H, Zhang X H, Yang J Y, et al. Digital compilation of 1:1 000 000 geological and geophysical map series of China and adjacent regions on MapGIS platform [J]. Geo-Information Science, 2011, 13(6): 750-757.

[8] 杨星辰,叶培盛,蔡茂堂,等. 数字地质填图野外手图地理底图制作方法[J]. 地质力学学报,2017,23(3):333-338.  
Yang X C, Ye P S, Cai M T, et al. Methods for the production of field free-hand maps and geographic basemaps in digital geological mapping [J]. Journal of Geomechanics, 2017, 23(3): 333-338.

[9] 武丽丽,江南,姜鹏远,等. 浅析专题地图中的底图数据处理方法;以大比例尺陆地交通图为例[J]. 测绘与空间地理信息, 2011,34(6):251-254.  
Wu L L, Jiang N, Jiang P Y, et al. The basic geographic data processing methods of thematic map—Taking large-scale land transport map as an example [J]. Geomatics & Spatial Information Technology, 2011, 34(6): 251-254.

[10] Bottero M C, Polo P I, Taddia G, et al. A geodatabase for supporting planning and management of mining activities: The case of Piedmont Region [J]. Environmental Earth Sciences, 2020, 79(4): 1-12.

[11] Charlotte E G, Rama M P, Paul J V, et al. The SAFER geodatabase for the Kathmandu Valley: Geotechnical and geological variability [J]. Earthquake Spectra, 2020, 36(3): 1549-1569.

[12] Kalaf A, Ai S H, Hatem L, et al. Building archaeology geodatabase in Iraq using GIS [J]. MATEC Web of Conferences, 2018, 162: 3-23.

[13] 高佳. 基于 GEODATABASE 的矿区地质灾害数据库的设计[J]. 西安科技大学学报,2014,34(6):748-753.  
Gao J. Design of database for geological disasters in mining area based on Geodatabase [J]. Journal of Xi'an University of Science and Technology, 2014,34(6): 748-753.

[14] 徐斌,张艳. 地下水化学类型区分的 GIS 空间分析模型[J]. 武汉大学学报:信息科学版,2019,44(6):866-874.  
Xu B, Zhang Y. GIS-Based spatial analysis model for regionalization of groundwater Hydrochemical type [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University: Information Science Edition, 2019, 44(6): 866-874.

[15] 金鑫,董少春,王晓琪,等. 基于 ArcGIS Geodatabase 的浙江良渚古城遗址空间数据库的设计与实现[J]. 南京大学学报:自



然科学版,2018,54(1):163-175.

Jin X, Dong S C, Wang X Q, et al. Design and implement of a spatial database based on ArcGIS Geodatabase for archaeological sites in Liangzhu ancient city, Zhejiang Province [J]. Journal of Nanjing University: Natural Science, 2018, 54(1): 163 - 175.

[16] Wang J H, Li F P, Wang J, et al. Spatial query and analysis of tailings management based on GIS [J]. Engineering, ICISE2010 Proceedings, 2010, 3343(1): 4033 - 4035.

[17] 随欣欣, 眭素文. 基于 MapGIS 和 ArcGIS 的遥感解译成果图件数据库设计与实现 [J]. 国土资源遥感, 2018, 30(4): 218 - 224.

Sui X X, Sui S W. Design and implementation of remote sensing interpretation map database based on MapGIS and ArcGIS [J]. Remote Sensing for Land & Resources, 2018, 30(4): 218 - 224.

[18] Reddy G P O. Spatial data management, analysis, and modeling in GIS: Principles and applications [J]. Geospatial Technologies in Land Resources Mapping, Monitoring and Management, 2018, 7: 27 - 142.

[19] 王海, 李瑞敏. 缓冲区分析方法在事故多发点鉴别的应用研究 [J]. 公路工程, 2016, 41(1): 103 - 107.

Wang H, Li R M. Buffer analysis method in the identification of the accident black point application research [J]. Highway Engineering, 2016, 41(1): 103 - 107.

[20] Kohei O, Keiichi O. Sketch map analysis using GIS buffer operation [J]. Lecture Notes in Computer Science, 2005, 3343(1): 227 - 244.

[21] 杨玲羽, 付敖云. QC7.5-17-2008 航空物探数字制图与印刷技术规定 [S]. 中国国土资源航空物探遥感中心, 2008.

Yang L Y, Fu A Y. QC7.5-17-2008 Technical specification for digital mapping and printing of airborne geophysical prospecting [S]. China Aero Geophysical Survey and Remote Sensing Center for Land and Resources, 2008.

The method of making the airborne geophysical thematic  
base-map based on spatial analysis:  
Exemplified by the Dazhou-Huaying survey area

ZHANG Qi-Jie<sup>1,2</sup>, YAN Hong-Yu<sup>1</sup>, ZHANG Ting-Ting<sup>3</sup>, WU Yun<sup>1</sup>, GAO Shan<sup>1</sup>

(1. China Aero Geophysical Survey and Remote Sensing Center for Natural Resource, Beijing 100083, China; 2. Key Laboratory of Airborne Geophysics and Remote Sensing Geology, Ministry of Natural and Resources, Beijing 100083, China; 3. China University of Geosciences(Beijing), Beijing 100083, China)

**Abstract:** Geographical base map is an important basic step and component of airborne geophysical thematic map; nevertheless, the previous treatment methods seem to be rather complicated. This paper analyzes the function and present situation of the thematic base map of aero geophysical exploration and introduces the spatial analysis method. With 1:250 000 public versions of terrain data, this paper discusses the idea and method of compiling the thematic base map of aerial geophysical exploration, and completes the vectorization of geographical elements. The Dazhou-Huaying survey area in Sichuan Province is chosen to perform test. It is shown that the basemap designed by this method is simple and practical and, compared with previous processing methods, it is more intelligent, and that the production results are fast and accurate and can meet the relevant precision requirements. This method provides a strong support for the accurate production of airborne geophysical thematic maps, and it is easy to use. At the same time, it also lays a foundation for the development of airborne geophysical exploration.

**Key words:** spatial analysis method; aerial geophysical exploration; geographic base map; GIS

( 本文编辑:王萌)