

# 基于 GDAL 库的温度推算模型的研究与实现

刘文毫<sup>1</sup>, 卫建国<sup>1,2</sup>, 张春梅<sup>1</sup>, 杨 豫<sup>3</sup>, 刘兆宇<sup>3</sup>

(1. 北方民族大学 计算机科学与工程学院, 宁夏 银川 750021;

2. 中国气象局旱区特色农业气象灾害监测预警与风险管理重点实验室, 宁夏 银川 750002;

3. 宁夏大学 农学院, 宁夏 银川 750021)

**摘 要:**为对无资料地区的温度分布情况进行推算, 设计了基于无人机航测 DEM 数据的小网格温度分布推算模型, 并采用开源 GDAL 库进行实现。项目首先通过 GDAL 库读取了宁夏太阳梁试验区 5 m 分辨率 DEM 数据, 提取了温度推算模型中用到的 3 个因子: 坡度、坡向、海拔, 基于实测的经纬度范围采用 Numpy 库生成了温度推算模型中的经度纬度因子。基于提取的因子在温度推算模型中进行推算以后, 生成了包含每个格点温度值的栅格文件。基于生成栅格文件, 利用 ArcGIS 制图工具制作了该地区的温度分布图。通过与监测点实测的温度数据对比验证: 实际温度值与模型推算的结果基本一致, 且推算因子中海拔因子对结果贡献最大。该结果证明了算法所采用技术的易用性和算法所设计参数的准确性。

**关键词:** 栅格数据处理; GDAL; ArcGIS; DEM; 温度推算

中图分类号: TP31

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2019)10-0074-05

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2019.10.016

## Research and Implementation of Temperature Prediction Model Based on GDAL Package

LIU Wen-hao<sup>1</sup>, WEI Jian-guo<sup>1,2</sup>, ZHANG Chun-mei<sup>1</sup>, YANG Yu<sup>3</sup>, LIU Zhao-yu<sup>3</sup>

(1. School of Computer Science and Engineering, North Minzu University, Yinchuan 750021, China;

2. Key Laboratory for Meteorological Disaster Monitoring and Early Warning and Risk Management of

Characteristic Agriculture in Arid Regions, CMA, Yinchuan 750002, China;

3. School of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan 750021, China)

**Abstract:** In order to calculate the temperature distribution in areas without data, a small grid temperature distribution calculation model based on DEM data of UAV aerial survey is designed and implemented by using GDAL package. Firstly, the project uses GDAL package to read the DEM data of 5 m resolution in Ningxia Taiyangliang experimental area, extracts the three factors used in the temperature calculation model: slope, aspect and altitude, and uses the Numpy package to generate the longitude and latitude factors in the temperature calculation model based on the measured longitude and latitude range. After the extracted factors are calculated in the temperature calculation model, a grid file containing the temperature value of each grid point is generated. The temperature distribution map of this region is made by ArcGIS mapping tool. Through comparison with the actual temperature data measured at the monitoring point, it is verified that the actual temperature value is basically consistent with the calculated results of the model, and the altitude factor among the calculated factors contributes the most to the results. The results show that the technique is easy to use and the parameters are accurate.

**Key words:** raster data processing; GDAL; ArcGIS; DEM; temperature prediction

## 0 引 言

为对中宁太阳梁试验区农作物霜冻情况进行研究, 需要对研究区域的温度分布状况进行推算。目前

对特定区域的温度分布状况进行推算研究的成果较多, Doug M. Smith 等<sup>[1]</sup>通过建立的模型对全球的温度进行了推算, Y. Radhika 等<sup>[2]</sup>采用支持向量机技术

收稿日期: 2018-11-22

修回日期: 2019-03-26

网络出版时间: 2019-06-26

**基金项目:** 国家自然科学基金项目(41565006, 41465004); 宁夏高等学校一流学科建设(电子科学与技术学科)(NXYLXK2017A07); 宁夏回族自治区重点研发计划项目(2018BFH03012); 北方民族大学校级物联网技术科研平台项目(PY1608)

**作者简介:** 刘文毫(1991-), 男, 硕士研究生, 研究方向为数学图像处理及计算机视觉; 张春梅, 教授, 硕士, 研究方向为图像处理、机器学习、模式识别。

**网络出版地址:** <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20190626.0823.010.html>

对区域的大气温度进行了预测。国内学者在温度推算方面也有很深入的研究。例如,唐圣钧等<sup>[3]</sup>对贵州省南北两个区域,结合多元回归等方法,分区建立了基于纬度、海拔和坡向以及坡度因子的气温降水模型,在研究区域进行气候要素的小网格推算,结果表明纬度因子对温度和降水的贡献最大。卫建国<sup>[4]</sup>根据温度分布和热量理论,在 250 m 的地理网格资料中,采用多点推算方法,综合改进距离加权平均法,对运算中的多层推算结果进行权值订正,结果表明经过多点推算的温度图像平滑而富有变化,从根本上消除了单点推算的台阶现象。刘静等<sup>[5]</sup>利用线性内插确定界限温度的初终日期,利用逐旬气候资料进行小网格订正,从而得出了红寺堡等地区的温度分布。但是受限于自然条件及其他方面的限制,这些对温度推算的研究都是采用传统实测数据对地区的温度进行分布,而没有采用地形数据结合经纬度信息等资料对区域的温度进行推算,在实现方式上大多是使用传统的 C/C++ 编程技术进行实现,没有采用最新的 Python 开发技术进行实现,因此处理效率相对较低,无法应对基于大批量数据的温度推算工作。基于此现状,文中基于 GDAL 开源库,以无人机航测 5 m 分辨率 DEM 数据及实测的经纬度数据为数据源,实现了基于小区域温度推算模型的温度分布推算。

## 1 试验区概况

太阳梁位于中卫平原之上的中宁县渠口农场,南与中宁县枣园乡接壤,以白马梁为界;北与青铜峡与中宁交界线的胡子沟为界;西倚内蒙古阿拉善左旗头道湖,东靠包兰铁路。试验区地形复杂多变,由土石山地和缓坡丘陵组成,绝大部分为缓坡丘陵,局地为微坡地。

试验区处于中温带干旱区,大陆性季风气候特征明显,光照充足、热量丰富、蒸发强烈、昼夜温差大,气候干旱少雨,春暖快、夏热短、秋凉早、冬寒长。主要气象灾害有干旱、沙尘暴、霜冻、冰雹、暴雨、干热风等。

由于研究区域气候特征独特,农业灾害类型多样,因此该试验区适合农业气象灾害的研究。又因试验区没有详细的温度分布数据,因此,需要建立一套合理的温度推算模型,推算该试验区温度分布状况。

太阳梁桃园试验区布局如图 1 所示。

## 2 数据来源及温度推算模型

项目采用太阳梁试验区无人机航测的 5 m 分辨率细网格 DEM 数据作为数据源。通常情况下,某地区的平均温度分布情况与该地区大气环境、海拔高度、经纬度及小气候环境有关<sup>[6]</sup>。不同季节太阳辐射<sup>[7]</sup>和

大气环流背景是导致气温季节变化的主要原因,同时,坡度坡向也会影响该地区的辐射分布情况<sup>[8]</sup>。该项目采用前人<sup>[3]</sup>对贵州全区气候要素的推算模型为基础,并结合太阳梁试验区的具具体气候特征,设定每项气候要素的权重系数,使其能够更好地实现对太阳梁试验区的温度推算。具体推算模型如下:

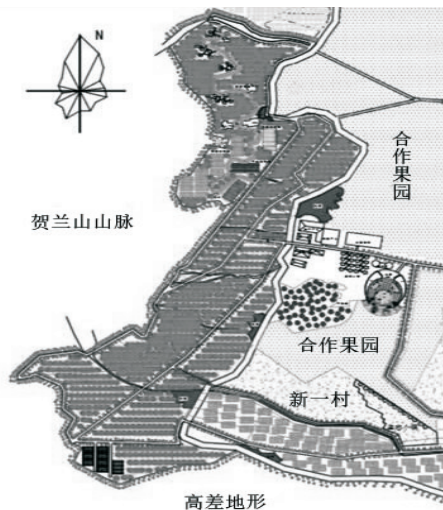


图 1 太阳梁桃园试验区布局  
(左侧及底部阴影区为研究区域)

设基准站的平均气温为  $S$ , 则预测点的温度值可表示为:

$$S = f(\lambda, \varphi, h, \chi, \omega) + T \quad (1)$$

其中,  $S$  为某预测点气候要素值;  $\lambda$  为预测点与基准点的经度差值;  $\varphi$  为预测点与基准点的纬度差值;  $h$  为预测点与基准点的海拔差值;  $\chi$  为预测点与基准点的坡向差值;  $\omega$  为预测点与基准点的坡度差值。

基于气象科研人员对模型中的每个因子进行分析评估得到各个因子的系数,同时结合研究区域 2018 年 3 月的基准点实测的平均温度为 14.8℃,确定最终的温度推算模型如下:

$$T = [1\lambda + 1\varphi + 0.03h + (-0.01)\chi + 0.01\omega] * 0.05 + 14.8 \quad (2)$$

## 3 关键技术

### 3.1 GDAL 地理空间数据抽象库

GDAL<sup>[9]</sup> 全称为地理空间数据抽象库 (geospatial data abstraction library), 是众多操作地理空间栅格数据的开源库之一。它利用抽象数据模型来表达所支持的各种文件格式,并使用一系列命令行工具来进行数据的转换和处理。GDAL 包含两个库:用于操作地理空间栅格数据<sup>[10]</sup>的 GDAL 和用于操作地理空间矢量数据的 OGR,且其支持的数据格式也相当广泛,包括 GeoTiff(.tiff)、Erdas Image(.img)、(.grd) 等 155 种栅格数据,以及(.shp)、(.gml)、(.GeoPackage) 等 95

种矢量数据。GDAL 库还提供了一系列算法的接口<sup>[11]</sup>,如矢量栅格化、栅格矢量化、遥感数据的空间纠正等,并对这些算法提供了可以运行的文件,方便用户的使用。利用 GDAL 和 OGR 这两个开源库,可实现对栅格和矢量数据的操作及处理。该项目采用开源 GDAL 库读取了 .grd 格式的原始 DEM 文件并转换成通用 GeoTiff 文件,基于 GeoTiff 文件提取温度推算所需坡度、坡向等因子并写入到栅格文件中。通过调用 GDAL 库操作栅格数据的具体流程如图 2 所示。

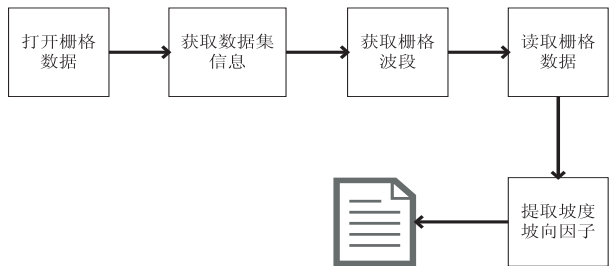


图 2 GDAL 库操作栅格数据流程

3.2 Numpy 库及 Matplotlib 库

Numpy 库是 Python 进行科学计算的基础模块,它是一个提供多维数据对象的 Python 库,包含了多种衍生对象以及一系列为快速计算数组而生的例程<sup>[12]</sup>。Numpy 库最核心的部分是 ndarray 对象,通过 ndarray 对象可以实现对栅格数据的有效存储。同时,Numpy

库具有强大的矩阵运算能力,可以实现矩阵求逆、求特征值、求特征向量等操作。Numpy 科学运算库为温度推算工作的实现提供了支撑。

Matplotlib 库<sup>[13]</sup>是 Python 编程语言及 Numpy 扩展包的可视化操作界面,其提供了面向对象的 API 用于通用 GUI 工具包。Matplotlib 库类似于 MATLAB 中的 Pyplot 模块。基于 Matplotlib 库可将温度推算中的每个因子以图像的形式直观显示,并自动生成图例,生成的图例不仅方便检查数据的准确性,而且可以帮助灵活地调整权重系数,从而实现对温度分布状况更加准确的推算。

4 项目实施流程

项目首先采用无人机航拍的细网格 DEM 数据生成海拔格点数据,生成该地区的坡度格点数据、坡向格点数据。依据实测的研究区域经纬度范围,生成包含该区域每个格点的经度纬度值的格点数据。由于生成的格点数据结果为标准矩形矩阵,因此需要使用 DEM 数据生成二值矩阵将格点数据裁剪为研究区形状。获取了温度推算所需 5 个因子的格点数据以后,基于 Python 的 ConfigParser 模块,读取了每个因子的权重系数并基于 Numpy 库实现模型的运算操作。温度推算技术路线图如图 3 所示。

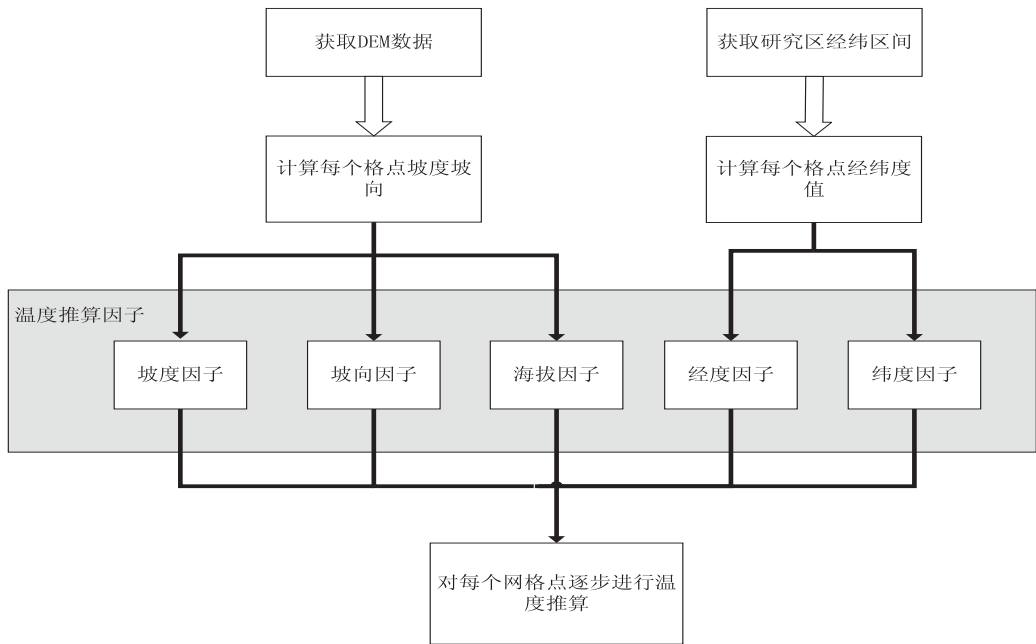


图 3 温度推算技术路线图

4.1 温度推算因子的提取

(1)海拔因子。  
由于 DEM 数据<sup>[14-15]</sup>已经包含研究区域的海拔数据,因此只需对 DEM 数据进行格式转换,将原始 .grd 格式文件转换为模型推算所需 GeoTiff 格式。具体步骤如下:通过 GDAL.open() 函数打开 .grd 格式的

DEM 文件,读取为 Numpy 库支持的 ndarray 格式,然后通过 GDAL 库提供的 WriteArray() 函数将数据写入为 GeoTiff 格式。

(2)坡度坡向因子。  
由于 GDAL 库包含生成坡度和坡向的函数,因此该项目通过调用 GDAL 库的函数生成了包含坡度坡



向两个因子的文件。坡度坡向因子生成步骤如图 4 所示。

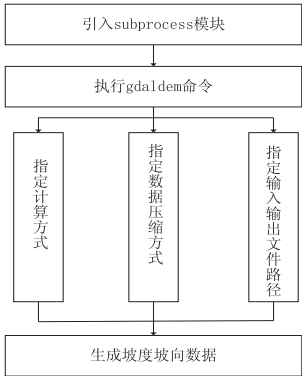


图 4 坡度坡向因子生成步骤

生成坡度坡向因子需调用 subprocess 模块, subprocess 模块可以通过命令行的方式执行 GDAL 命令,这是执行生成坡度坡向因子命令的前提。引用完成 subprocess 后开始编写生成坡度坡向因子的命令,需调用 GDAL 库中 gdaldem 模块,然后指定如下参数:指定需要生成的因子(slope、aspect);指定输出图像的压缩方式,该项目采用 LZW 压缩方式;指定其他参数,如-s 指定计算比例,-alg 指定计算算法。命令编写完成后,便可通过 subprocess.call() 函数将命令执行,分别生成包含研究区域坡度坡向因子的栅格文件。

(3)经度纬度因子。

由于无人机航测的 DEM 数据中包含研究区的经纬度范围,因此使用 GDAL 库中的 GetGeoTransform() 函数即可获取研究区域的经纬度范围,但获取到的坐标是投影坐标,还需要编写函数将投影坐标转换为经纬度坐标,函数主要用到的是 TransformPoint() 方法。最终得到研究区域的经纬度范围:东经 105°46′ ~ 105°50′;北纬 37°38′ ~ 37°43′。基于经度纬度的区间,使用 Numpy 的 linspace() 函数分别生成该地区的经度纬度分布矩阵。

4.2 温度推算模型的实现

温度推算模型的实现需要通过 GDAL 库将各个因子数据的 GeoTiff 文件进行读取,转化为可以进行运算的矩阵。主要操作如下:

- (1)叠加因子权重系数:由于每个因子对该区域的温度影响作用不同,因此需要对每个因子叠加不同权重系数;
- (2)叠加总系数:每个因子叠加完权重系数后,推算出的温度区间可能与实际温度分布区间不符,因此需要设置总系数对温度分布区间进行调整;
- (3)叠加基准站温度  $T$ :前两项运算得出的是目标点与基准站温度的差值,因此需要与基准站温度进行叠加,从而实现对整个区域的温度进行推算。

以上三种对矩阵的操作皆可通过 Numpy 库进行实现,这里需要注意的是,在执行完每一步操作以后,都要使用 Matplotlib 库中的 imshow 方法将运算完成的矩阵以图形化展示,这样可以保证在运算出现异常值时及时发现,同时可以对每一步运算结果进行验证,提升温度推算工作的鲁棒性。

基于用户体验需求,工具在使用时需要隐藏具体的实现细节,同时又需要将权重系数配置接口开放给用户。因此引入了 Python 的 ConfigParser 模块,通过此模块可以实现读取配置文件中的权重系数实现温度的推算,因此用户仅需在配置文件中配置好每个因子的权重系数即可生成研究区域的温度分布图。

4.3 温度分布图的生成

基于 Python 技术对提取到的 5 个因子通过温度推算模型进行运算以后,最终生成包含每个网格点温度值的 GeoTiff 文件。虽然基于 python 的 Matplotlib 模块可以将温度推算中的每个因子进行图形化展示,方便检查数据的准确性,但是在实际应用中发现 Matplotlib 模块在绘制最终正果温度分布图时存在很多不足的地方,如无法设置图例样式,无法添加指南针比例尺等。因此决定采用 ArcMap 制图工具<sup>[16-17]</sup>制作最终的正果温度分布图。ArcMap 是一款强大的制图工具,可以方便地添加图例、比例尺等组件,同时可以灵活地根据数值范围设置不同的配色。

5 实验结果

最终生成的正果温度分布如图 5 所示,由图中不同标注的区域可以看到,研究区域的西侧区域温度较低,而研究区域北部区域及东南部区域温度偏高,其中温度最高的区域为东北部区域,温度达到了 15.3℃ 以上。



图 5 正果温度分布

为了对项目建立的温度推算模型进行验证,分别

在太阳梁试验区选取三个观测点,对观测点的温度进行逐时监测,统计了 2018 年 3 月 1 日至 31 日的每小时温度。具体观测位置如图 6 所示。

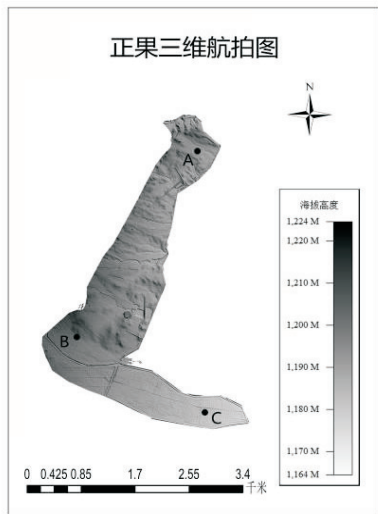


图 6 监测点位置分布

监测点 A 位于试验区的北部区域,监测点 B 位于试验区的西南部区域,监测点 C 位于试验区的东南部区域。通过统计得出了 26 日至 30 日的平均温度:观测点 A 的平均温度为  $15.1^{\circ}\text{C}$ ,观测点 B 的平均温度为  $15.13^{\circ}\text{C}$ ,观测点 C 的平均温度为  $14.9^{\circ}\text{C}$ 。经过与模型推算结果对比,得出推算结果与地区实际温度分布状况比较吻合,达到了预期的目标。同时,温度推算设定的五个因子中,海拔对温度的推算影响最大,其次是坡度和坡向。可见在小区域网格温度推算中,经度和纬度的影响权重较小,基本上可以忽略不计,这一点与大区域的网格点温度推算不同。

## 6 结束语

基于对温度推算模型及开源栅格处理 GDAL 库的研究,设计并实现了一种基于 DEM 数据的小网格温度推算模型,并基于开源栅格处理库 GDAL 库及科学运算库 Numpy 库进行实现。首先介绍了研究区概况及模型的设计,其次介绍了实现模型时用到的关键技术,并详细介绍了温度推算模型的实现步骤,最后对温度推算结果进行了分析与验证。基于开源 GDAL 库实现的温度推算模型相较于传统的实现方式具有可扩展性强且运算速度快等特点。该成果同样可推广应用于其他模型的推算工作,如基于该模型中的坡度、坡向、海拔因子,可以应用于小区域风场分布情况的推算,这也是该项目接下来的研究方向。

## 参考文献:

[1] SMITH D M, CUSACK S, COLMAN A W, et al. Improved surface temperature prediction for the coming decade from a

global climate model[J]. Science, 2007, 317 ( 5839 ) : 796-799.

[2] RADHIKA Y, SHASHI M. Atmospheric temperature prediction using support vector machines[J]. International Journal of Computer Theory and Engineering, 2009, 1(1) : 55-58.

[3] 唐圣钧,程志刚,王东海,等. 基于 DEM 的贵州山区气温和降水推算方法研究[J]. 西南大学学报:自然科学版, 2015, 37(1) : 128-137.

[4] 卫建国. 离散温度资料小网格推算法的改进和实现[J]. 宁夏工程技术, 2006, 5(3) : 230-234.

[5] 刘 静,马力文,周惠琴,等. 宁夏扬黄新灌区热量资源的网格点推算[J]. 干旱地区农业研究, 2001, 19(3) : 64-71.

[6] 苏占胜,陈晓光,黄 峰,等. 基于 GIS 的宁夏气候要素推算及农业气候资源分析[J]. 干旱地区农业研究, 2008, 26(4) : 242-249.

[7] KLEIN W H, LEWIS B M, ENGER I. Objective prediction of five-day mean temperatures during winter[J]. Journal of the Atmospheric Sciences, 1959, 16(6) : 672-682.

[8] 谢先全,晏路明. 基于 GIS 的福建省农业气候资源小网格推算[J]. 福建师范大学学报:自然科学版, 2004, 20(3) : 90-93.

[9] 查东平,林 辉,孙 华,等. 基于 GDAL 的遥感影像数据快速读取与显示方法的研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2013, 33(1) : 58-62.

[10] 崔树林,张 旭,张树清,等. 基于 GPU 的大规模栅格数据分块并行处理方法[J]. 计算机技术与发展, 2015, 25(3) : 19-22.

[11] QIN Chengzhi, ZHAN Lijun, ZHU Axing. How to apply the geospatial data abstraction library ( GDAL ) properly to parallel geospatial raster I/O? [J]. Transactions in GIS, 2014, 18(6) : 950-957.

[12] 陈笑飞,李 滔. 基于 Python 的虚拟仪器技术研究及实现[J]. 电子设计工程, 2012, 20(16) : 48-50.

[13] HOFFMANN P. Enhanced seasonal predictability of the summer mean temperature in Central Europe favored by new dominant weather patterns[J]. Climate Dynamics, 2018, 50(7-8) : 2799-2812.

[14] 杨 勇,徐 恺,杨静学,等. SRTM DEM 数据提取河网方法及影响因素研究[J]. 计算机技术与发展, 2010, 20(1) : 1-4.

[15] JENSON S K, DOMINGUE J O. Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis[J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1988, 54(11) : 1593-1600.

[16] 石 礁. 基于 ArcMap 的地图制作研究[J]. 测绘与空间地理信息, 2016, 39(7) : 148-149.

[17] JIAO Donglai, YANG Xiaoli. The study of adaptive rendering model for custom map symbol on different GIS Platform [C]//International conference on remote sensing, environment and transportation engineering. Nanjing, China: IEEE, 2011 : 4664-4667.