引文格式：苏小凤, 张彦, 武政, 等. 福建省厦漳泉都市区建设用地扩张及其驱动力[J]. 地理空间信息, 2023, 21(8): 53-57. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2023.08.013

福建省厦漳泉都市区建设用地扩张及其驱动力

苏小凤[1,2]，张　彦[1,2*]，武　政[1,2]，王　挺[1,2]
(1. 福建师范大学 福建省亚热带资源与环境重点实验室，福建 福州 350007；2. 福建师范大学 地理科学学院，福建 福州 350007)

摘　要：以我国福建省厦漳泉都市区为研究对象，选取2010年、2015年及2019年的Landsat遥感影像，采用最大似然法提取厦漳泉都市区建设用地面积，并结合核密度分析法分析其扩张趋势。结果表明，从2010年到2019年厦漳泉都市区建设用地面积共扩增了2 363 km^2，扩张速度为262.5 km^2/a，强度指数为1.5%，属于快速扩张趋势，其中厦漳泉三市市区属于建筑用地密集区。厦漳泉都市区城市建设用地的扩张与当地的自然与社会等因素密切相关。其中，自然环境对城市扩张的影响最大，城市形态及扩张方向受区域地形及河流的影响。此外，人口流动、市区经济发展、交通网络分布也是影响该区域建设用地扩张的主要因素。

关键词：城市群；厦漳泉都市区；Landsat遥感；城市扩张；驱动力分析
中图分类号：P208　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2023）08-0053-05

Construction Land Expansion and Its Driving Force in Xiamen-Zhangzhou-Quanzhou Metropolitan Area of Fujian Province

SU Xiaofeng[1,2], ZHANG Yan[1,2], WU Zheng[1,2], WANG Ting[1,2]
(1. Fujian Provincial Key Laboratory for Subtropical Resources and Environment, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China;
2. School of Geographical Sciences, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China)

Abstract: Taking Xiamen-Zhangzhou-Quanzhou metropolitan area in Fujian Province as the research object, we selected the Landsat remote sensing images in 2010, 2015 and 2019, extracted the construction land area of Xiamen-Zhangzhou-Quanzhou metropolitan area by maximum likelihood method,and analyzed its expansion trend combined with nuclear density analysis. The results show thatthe construction land area of Xiamen-Zhangzhou-Quanzhou metropolitan area has expanded by 2 363 km^2 from 2010 to 2019 with a speed of 262.5 km^2/a. Its intensity index is 1.5%, which belongs to rapid expansion. Among them, the urban areas of Xiamen, Zhangzhou, Quanzhou are dense area of construction land. The expansion of urban construction land in Xiamen-Zhangzhou-Quanzhou metropolitan area is closely related to local natural and social factors. Among these factors, natural environment has the greatest impact on urban expansion since the urban form and expansion direction are affected by regional topography and rivers. In addition, population flow, urban economic development and traffic network distribution are also main factors affecting the expansion of construction land in this area.

Key words: urban agglomeration, Xiamen-Zhangzhou-Quanzhou metropolitan area, Landsat remote sensing, urban expansion, driving force

城市群是指以中心城市为核心向周围辐射构成的多个城市的集合体[1]。城市群建设不仅能形成城市合理空间的发展格局，而且能完善区域互动机制，从而促进城市的健康发展[2]。其中，都市区作为城市群建设的核心区和产业集聚区，是以超大城市、特大城市或者辐射带动能力强的大城市为核心，形成的一个浓缩的城市群[3]。随着我国大量城市群的不断扩增，“十四五”期间，我国重点建设36个现代化都市圈和2个城市圈，强化都市圈的同城化效应，以此支撑城市群的形成和发展[4]。但城市建设用地的扩张，侵占了农业和生态用地，破坏生态环境，带来一系列“城市病”[5]。为此，深入全新经济背景下的城市群空间扩张趋势及其驱动因素研究[6]，对理解城市建设发展与生态文明的关系具有重要意义。

本研究通过GIS和遥感技术手段，分别提取厦漳泉都市区2010年、2015年和2019年建设用地面积信息，分析厦漳泉都市区建设用地面积年际变化和空间扩展特征，明确厦漳泉都市区空间增长面积和扩张趋势；并结合社会经济统计数据等信息，探讨厦漳泉都市建设用地空间扩展的驱动力因素；此外，根据其发展现状，对其城市空间扩张的合理性进行评价与分析，对未来城市群扩张建设和发展提出有效建议。

收稿日期：2022-03-28；修回日期：2022-08-10。
项目来源：福建省自然科学基金资助项目（2019J05067）；福建省教育厅资助项目（JT180066）。
第一作者简介：苏小凤（1999—），硕士生，研究方向为生态遥感，E-mail：1836268965@qq.com。
通信作者：张彦（1988—），博士，副研究员，研究方向为生态演化过程，E-mail：zhangyan7299@126.com。

1 区域概况和研究方法

1.1 研究区概况

厦漳泉都市区（23.5°~25°N，117°~119°E）地处福建省东南沿海，属于中国东部沿海城市带中的海西城市群，总面积1.4万km²，属于典型的亚热带湿润性季风气候，每年平均温在21℃左右，每年平均降水量在1 000~1 200 mm，区内地形平坦，河网密布，拥有九龙江和晋江2个重要水系。研究区包括三市十县（市）[7]。

1.2 数据来源及预处理

本文使用的遥感影像数据均来源于美国地质调查局（http://earthexplorer.usgs.gov）。选取2010、2015、2019年3个年份的研究区遥感影像，分辨率为30 m，运用ENVI对Landsat遥感影像进行辐射校正预处理[8]，并用研究区矢量边界进行裁剪。

社会经济数据主要来自于各市区的统计年鉴，具体包括人口、生产总值以及第一、二、三产业的产值等数据；交通干道数据来源于福建省交通运输厅在2015年颁布的厦漳泉都市区的综合交通一体化规划。

1.3 研究方法

1.3.1 监督分类法

本文主要采用遥感影像分类中的监督分类法[9]。

最大似然法是一种基于统计分析的监督分类方法，是Bayes准则为理论基础[10]。通过把某一未知的对象判断分类到有最大可能的那一类里，具体公式为：

$$p\left(\frac{w_i}{x}\right)=\frac{p(x/w_i)p(w_i)}{\sum_i p(x/w_i)p(w_i)} \tag{1}$$

式中，$p(w_i)$为w_i在影像中的先验概率；$p(x/w_i)$为w_i类型中具有x的条件概率，也是其在x条件下的后验概率。在满足最大似然法假设条件下，已经知道地物出现的先验概率和在x的条件下的概率，计算得出地物类型出现的后验概率，再根据最小混淆概率，并结合最小风险算法的机理，即可实现对需要分类的影像的监督分类[11]。

1.3.2 城市扩张速度和强度分析

扩张速度V_t指在t时间段内城市用地面积的增长率，用来表征城市的扩张速度和趋势。

$$V_t=\frac{S_b-S_a}{T_b-T_a} \tag{2}$$

扩张强度R_t指在t时间段内城市建设用地面积扩张的快慢或强弱。

$$R_t=\frac{S_b-S_a}{S}\times\frac{1}{T_b-T_a}\times 100\% \tag{3}$$

式中，S_a、S_b分别为研究时间段初始及段末的城市建设用地面积；T_a、T_b分别为研究时间段初始及段末的时间[12]。

1.3.3 建设用地密度分析

本文将城市在2010—2019年新增建设用地图斑划分为1 km网格并作为基础单元，依托于ArcGIS软件进行核密度分析，挖掘其扩张热点空间分布规律。核密度的计算公式如下：

$$F_n(x)=\frac{1}{n\cdot h}\sum_{i=1}^{n}k\left(\frac{x-x_i}{h}\right) \tag{4}$$

式中，$F_n(x)$为核密度值；$k(x)$为核函数；$x-x_i$为估计点到x_i的距离；h为带宽；n为带宽范围内新增城市建设用地网格个数。核密度值越大，表示城市建设用地扩张越密集[13]。

1.3.4 扩张驱动力的相关性分析

本文采用定性与定量相结合的方法进行城市扩张驱动力分析，选取地形和河流等自然因素进行定性分析，选取交通、社会、经济、人口等因素进行定量的相关性分析，相关性分析采用皮尔逊相关系数判定，通常用r表示，计算公式如下：

$$r=\frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i-\bar{X})(Y_i-\bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(X_i-\bar{X})^2}\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(Y_i-\bar{Y})^2}} \tag{5}$$

该系数衡量的是2个变量X、Y之间的相关性程度，其值位于[-1，1]区间内，相关系数的绝对值越大，相关性越强；相关系数越接近于1或-1，相关度越强；相关系数越接近于0，相关度越弱。

2 结果与分析

2.1 城市建设用地变化分析

本文利用ENVI中最大似然法进行监督分类，然后再利用GIS进行目视解译，绘制出建设用地的范围。通过ArcGIS分析得到不同年份的厦漳泉都市区建设用地面积：2010年为1 916 km²，约占总面积的13.7%；2015年为2 757 km²，约占总面积的19.7%；2019年为4 279 km²，约占总面积的30.5%。

2.2 城市扩张速度和强度分析

根据扩张速度和强度公式计算城市扩张速度和强度指数可得厦漳泉都市区建设用地扩张的时间变化，结果表明，2010—2019年研究区总用地面积增长了2 363 km²，扩张速度262.5 km²/a，强度指数为1.5%，属于快速扩张，整体来说厦漳泉都市区建设用

地空间扩张强度和速度不断增加，其中2015—2019年扩张速度相对2010—2015年较快。

2.3　城市建设用地密度分析

对研究区进行城市建设用地密度分析，厦漳泉都市区的城市建设用地扩张密度分布呈现明显的分异格局，主要表现为泉州市鲤城区和洛江区、晋江市、石狮市、厦门市湖里区思明区和集美区、漳州市芗城区为高值中心，惠安县、南安市、龙海市为中值地区，漳浦县、云霄县、东山县为低值地区。

此外，厦漳泉都市区的大部分城市连片发展，呈现出一体化趋势，说明各城市发展关系较为密切，尤其是泉州市、厦门市、漳州市这3个核心城市在发展中起到非常大的辐射带动作用，但同南安市、惠安县、漳浦县、云霄县、诏安县及东山县的联系还不够紧密。

3　讨　论

3.1　厦漳泉都市区建设用地扩张趋势

厦漳泉都市区建设用地面积在2010年约占总面积的13.7%，2015年约占19.7%，2019年约占30.5%，2010—2019年扩展速度为262.5 km^2/a，强度指数为1.5%，属于快速扩张。有研究表明[14]，珠三角城市建设用地由2010年的33.6%扩增到2015年的35.25%，2019年达到37.2%，扩张速度为60.42 km^2/a。珠三角城市由于政策及优越的地理位置，开始发展时间较早，扩张时间较早，目前已稳定发展[15]。而厦漳泉都市区发展时间相对较晚，2010—2019年时间段内城市建设用地扩张速度明显较快，未来发展潜力大，建设用地面积将会进一步扩张。

3.2　影响厦漳泉都市区城市扩张驱动因素

城市建设用地的扩张与当地的自然环境、交通、社会经济、人口与政策等因素有密切的关系[16]。

3.2.1　自然因素

自然环境为城市发展提供基础条件，因此一定程度上决定了城市建设用地的空间分布及扩张趋势。厦漳泉都市区主要位于福建省东南部，总体地势呈现西部高，东部低，西部地区分布有戴云山，东部分布有漳州平原和泉州平原。对比厦漳泉都市区建设用地扩张及地形高程数据，95%以上的城市建设用地分布在漳州平原和泉州平原区域。平原地区地形平坦，靠近河口和海岸，更有利于基础设施建设及经济活动开展，所以城市扩张明显倾向与在地形平坦的地区扩张。

厦漳泉区域内主要有九龙江、晋江及其支流，河流沿岸及河口三角洲地形平坦，土壤肥沃，所以城市建设用地多位于河流沿岸和河口三角洲，且沿河流扩张。

3.2.2　社会因素

社会因素是影响城市建设用地变化的主要因素[17]。本研究根据研究区的各项社会因子数据分析得出，城市建设用地面积与国内生产总值GDP、总人口、社会消费总额、外商投资额、第三产业比重、交通线路里程有较强的正相关性。此外，相关区域政策的颁布也影响着城市建设用地的变化[18]。

1）人口增长。人口增长可以为城市建设提供劳动力，从而加快城市建设用地扩张，厦漳泉都市区作为福建省环境好且经济发展较快的地区，吸引了大批来自闽西闽北地区的劳动力，产生了建设用地的需求，进而促进了城市建设用地面积的扩大。

根据福建省2019年末的人口统计数据，漳州市人口多且密度大的有芗城区、龙文区和龙海区，人口总共175.4万人，占漳州市总人口的34%；泉州市人口多且密度大的有晋江市、石狮市、鲤城区，人口总共325.8万人，占泉州市总人口的65%；厦门市人口多且密度大的主要有湖里区、思明区和集美区，人口总共279.7万人，占厦门市总人口的65%。

结合城市扩张用地分布及人口密度，城市建设用地多分布在人口密度大的地区，所以，人口增长一定程度上促进了厦漳泉都市区建设用地的扩张。

2）经济发展。城市空间的扩张与社会经济的发展密切相关，从中可发现城市扩展的驱动力和影响因子。从厦漳泉三市的统计年鉴来看，从2010—2019年间，各市的经济都呈现出快速发展的趋势（图1）。厦门市在2010—2019年间生产总值增加了3 849.95亿元，增长了约2.8倍，其中第二、三产业增长速度较快；泉州市在2010—2019年间生产总值增加了6 272.6亿元，增长了约2.7倍，其中第二、三产业增长速度较快；漳州市在2010—2019年间生产总值增加了3 311.12亿元，增长了约3.3倍，其中第二、三产业增长速度较快。总体来看，第二、三产业增长速度快，所占比重越来越大，第一产业所占比重越来越小。特别是第三产业的发展可以提供较多的就业岗位，促进城市化进程及城市建设用地的扩张。

此外，因为厦漳泉都市区特殊的地理区位，是著名的侨乡，吸引大量外商投资，在厦门著名的外资企业有：美国戴尔亚太地区工厂、美国柯达亚太地区工厂、太古飞机工程有限公司、美国可口可乐厦门分公司、厦门鹭翔石化、日本松下电器、荷兰菲利普电器、瑞士ABB等；漳州有诺尔起重机、GE

等。厦漳泉三市的实际利用的外商投资额在2010年到2019年都是不断增加的（图2），外商投资促进经济发展，进一步加快了厦漳泉地区城市建设用地的扩张。此外，区域产业聚集也影响该区域城市扩展速度和方向。

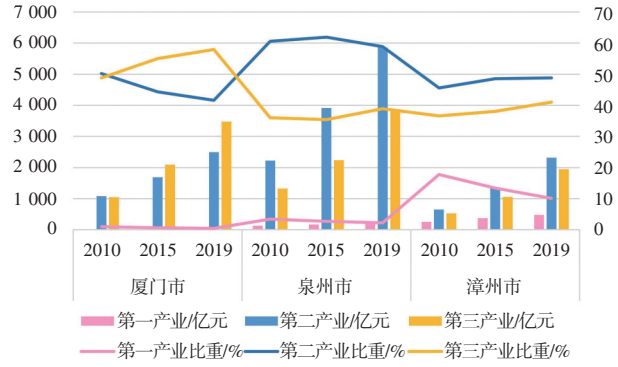


图1 研究区2010–2019年三大产业值及比重变化

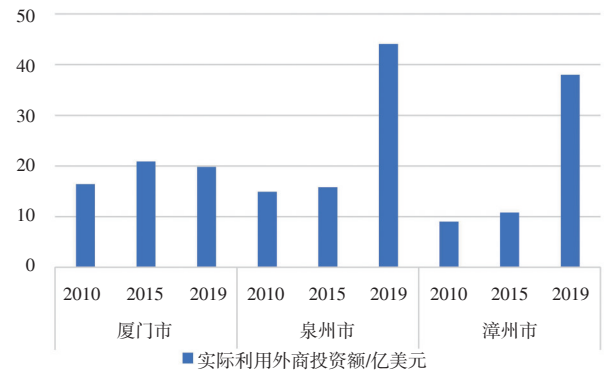


图2 研究区2010–2019年实际利用外商投资额变化

3）交通完善。厦漳泉都市区交通运输系统不断发展，铁路、公路、民航、国际航运中心建设速度加快，运输结构不断优化，形成了立体化、全方位、多层次的发展格局，适应社会发展的需求[19]。

4）政策支持。2011年厦漳泉都市区在厦门召开了第一次会议，《厦漳泉都市区同城化合作框架协议》正式签订，厦漳泉同城化建设有了实质性的大发展。2012年10月，厦漳泉都市区同城化在漳州召开了第二次会议，通过了《厦漳泉都市区同城化的总体规划》，在空间形态上简化为“一核、三带、两轴”[20]。此外，会议还提出厦漳泉城市的发展走廊的相关规划，范围最北是泉州泉港区，中间有泉州湾、厦门湾等地区，最南到漳州九龙江的入海口，走廊南北总共长150 km，宽大概为50 km，覆盖区域总的面积达5 000 km^2，规划在该区域内的常住人口达到1 000万，城镇建设用地规模扩大到近1 000万km^2。

4 结论与建议

本文以我国福建省厦漳泉都市区为研究对象，选取2010、2015及2019年的Landsat遥感影像，采用最大似然法提取厦漳泉都市区建设用地面积，分析其扩张特征及驱动力因素。

通过分析情况，发现厦漳泉都市区的三市市区连片发展，呈现出一体化趋势，所以应做出合理规划，要继续发挥厦漳泉三市市区的核心带动作用，打破行政壁垒，同时还需加强同周边县市的联系，促进区域一体化发展。通过分析厦漳泉都市区扩张速度和驱动力因素，结合其发展现状，可知在城市快速发展过程中势必会产生一系列的环境及社会问题，所以在发展过程中要结合城市资源及环境状况，不断提高第三产业比重，带动经济的发展，实现人和自然的和谐相处，实现可持续发展。

参考文献

[1] 顾朝林. 城市群研究进展与展望[J]. 地理研究,2011,30(5):771-784

[2] 赵勇,白永秀. 城市群国内研究文献综述[J]. 城市问题,2007(7):6-11

[3] 方创琳. 以都市圈为鼎支撑中国城市群高质量发展[J]. 张江科技评论,2020,23(6):32-35

[4] 方创琳. 中国城市群地图集[M]. 北京:科学出版社,2020

[5] 石善球,柴燕妮. 基于地表覆盖数据的生态用地景观格局分析[J]. 地理空间信息,2021,19(2):5-8

[6] 贺申泰,周泊远,杨卫军,等. 顾及空间交互的城市群空间扩张驱动因子分析[J]. 地理空间信息,2021,19(5):127-130

[7] 福建省国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要[N]. 福建日报,2011-01-13(1)

[8] Dai X,Khorram S. The Effects of Image Misregistration on the Accuracy of Remotely Sensed Change Detection[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing,1998,36(5):1 566-1 577

[9] 张威,刘毅,邵景安. 基于面向对象分类法的农田识别提取[J]. 灌溉排水学报. 2019,38(12):121-128

[10] 游代安,蒋定华,余旭初. GIS辅助下的Bayes法遥感影像分类[J]. 测绘科学技术学报,2001,18(2):113-117

[11] 杜挺. Landsat8 OLI遥感影像融合算法比较及其土地利用分类适应性分析[D]. 西安:西北大学,2015

[12] 王潇,徐建刚,李久林. 国家历史文化名城长汀建设用地空间演变及驱动力分析(2006-2016)[J]. 山东科技大学学报(自然科学版),2020,39(3):66-75

[13] 张亚萍,张平,孙丹峰. 成渝城市群城市建设用地扩张格局及规模体系分析[J]. 测绘通报,2020(7):103-107

[14] 刘盛和,吴传钧,沈洪泉. 基于GIS的北京城市土地利用扩展模式[J]. 地理学报,2000,55(4):407-416

[15] 王得文. 珠三角城市群建设用地扩张与空间格局变化研

究[J]. 矿山测量,2021,49(1):74-78
[16] 谈明洪,李秀彬,吕昌河. 我国城市用地扩张的驱动力分析[J]. 经济地理,2003,23(5):635-639
[17] 孙晓莉,张顺安,刘应芳,等. 基于GIS的土地利用动态变化及其驱动力分析[J]. 地理空间信息,2021,19(11):101-103
[18] 阳文锐. 北京城市景观格局时空变化及驱动力[J]. 生态学报,2015,35(13):357-366
[19] 漳州市城乡规划网.《厦漳泉都市区同城化总体规划》浮出水面[EB/OL]. (2012-10-25)[2022-03-30]. http://www. zzghj. gov. cn/news. aspx?News ID=5105
[20] 漳州政府网. 厦漳泉都市区范围划定[EB/OL]. (2011-10-03)[2022-03-29]. http://www. zhangzhou. gov. cn/cms/sitere-source/article. shtml?id=20224773203660000&siteId=620416811908440000

（上接第48页）

2）重要性信息。节点的重要性信息通过复杂网络的不同拓扑指标来综合表征，本质上是表达港口这一点状要素多个属性的数量特征，可以采用定位图表法和景观图法表示。

3.4　港口产业经济信息地图可视化方法应用

3.4.1　类型信息

港口产业类型具有语义分类特征，可以采用拓扑图、概念图表示，或将其内涵映射到地理空间，采用定点符号法表示。

3.4.2　分布信息

港口产业的分布具有几何特征和空间分布特征，可以采用定点符号法、点值法和灯光图表示。

3.4.3　港口产业群的划分

港口产业群是以港口的主导产业为核心，依据港口产业的不同将地域划分为不同的港口产业群，具有空间聚类特征，可以采用质底法和线状符号法表示。

基于以上分析，将港口产业经济信息的地图可视化表达方法总结如下（图5）。

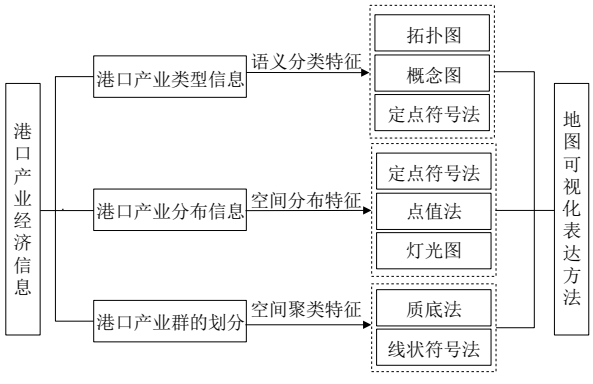


图5　港口产业经济信息可视化方法应用总结

4　地图可视化工具

随着地图可视化技术在多个行业的应用，地图可视化工具层出不穷。目前，国内外可视化软件和可视化平台数量繁多，在功能、效率、操作难度等方面各具特色[6]。本文从实现方法的角度将地图可视化工具分为平台类、软件类和编程类，对不同类型的工具从上手难度和优劣势方面进行总结分析，具体如表3所示。在对港口经济信息进行地图可视化实现时，制图者可以根据自身能力和可视化需求选择相应的可视化工具，对地图可视化工具的分析为港口经济信息地图可视化实现提供硬件支持。

5　结　语

本文分析了港口经济信息的内容，探究了港口经济信息的可地图化特征，为港口经济信息地图可视化提供了理论基础；总结了各类港口经济信息的地图可视化方法，初步建立了二者之间的映射关系；对现有的地图可视化工具进行了分类总结与分析，为港口经济信息的地图可视化表达提供了硬件支持。但是，由于同一信息可以采用多种表达方法，如何根据同一信息的不同表达需求对多种表达方法进行选择，本文并未进行分析，后续还需进一步探讨。

参考文献

[1] 庞小平,安妮,白亭颖,等. 海区尺度港航地图集的内容设计:以《中国北方枢纽港港航地图集》为例[J]. 测绘地理信息,2021,46(1):28-33
[2] 赵文双,江南,谢雨芮,等. 地缘环境可视化方法综述[J]. 测绘科学,2022,47(1):172-180
[3] 栾驰铠,张天明,郑子健,等. 面向“港产城”协调发展的港口及临港土地利用优化研究[J]. 城市建筑空间,2022,29(3):42-45
[4] 阳立军. 港口经济学概论[M]. 北京:海洋出版社, 2018
[5] 张兴伦. 地缘知识的地图表达及可视化分析研究[D]. 郑州:信息工程大学,2020
[6] 缪冬昕,郁舒兰. 可视化工具对比分析:以地理信息可视化功能为例[J]. 艺术科技,2019,32(3):68-69