

青岛主城区等时交通圈的构建及空间格局研究

刘冰^{1,2}, 王新雨², 陈丽^{3*}, 张艺曦³, 张照杰⁵, 陆邹妍², 梁蕾⁴

(1. 山东科技大学计算机科学与工程学院, 山东 青岛 266590; 2. 山东科技大学测绘与空间信息学院, 山东 青岛 266590; 3. 山东科技大学审计处, 山东 青岛 266590; 4. 山东正元地球物理信息技术有限公司, 山东 济南 250101; 5. 浙江正元地理信息有限责任公司, 浙江 湖州 313203)

摘要:以青岛市主城区交通圈为对象,分析青岛主城区交通圈层,弥补青岛市交通圈空间格局研究的缺失。依据地价均衡理论识别青岛主城区;采用核密度分析法和中心服务区算法,辅以源点终点(origin-destination, OD)矩阵分析法、成本距离分析法,生成青岛主城区等时交通圈;将青岛主城区交通圈分为核心区、过渡区与边缘区,并对青岛主城区空间范围、圈层形态等空间格局特征进行分析、评价;根据分析结果提出交通规划的具体建议。研究结果表明:青岛主城区内基于职能的平均时间成本为0.58 h,不同区域的时间成本差异明显,其中核心区有较高的路网密度,呈南北狭长分布;过渡区在核心区周围,道路里程较短,路网密度最低,空间分布格局不规则;边缘区时间成本最高,但路网密度比过渡区高,空间形态呈组团式分布。

关键词:交通圈;网络分析方法;城市职能;空间格局;青岛都市圈;核密度分析法

中图分类号:TU984.191 **文献标志码:**A

引用格式:刘冰,王新雨,陈丽,等. 青岛主城区等时交通圈的构建及空间格局研究[J]. 山东大学学报(工学版), 2024, 54(2):27-35.

LIU Bing, WANG Xinyu, CHEN Li, et al. Research on the construction and spatial pattern of the isochronous transportation circle in the main urban area of Qingdao[J]. Journal of Shandong University (Engineering Science), 2024, 54(2):27-35.

Research on the construction and spatial pattern of the isochronous transportation circle in the main urban area of Qingdao

LIU Bing^{1,2}, WANG Xinyu², CHEN Li^{3*}, ZHANG Yixi³, ZHANG Zhaojie⁵, LU Zouyan², LIANG Lei⁴

(1. College of Computer Science and Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266590, Shandong, China; 2. College of Geodesy and Geomatics, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266590, Shandong, China; 3. Audit Office, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266590, Shandong, China; 4. Shandong Zhengyuan Geophysical Information Technology Co., Ltd., Jinan 250101, Shandong, China; 5. Zhejiang Zhengyuan Geographic Information Co., Ltd., Huzhou 313203, Zhejiang, China)

Abstract: The research took the traffic circle of the main urban area of Qingdao as the object, analyzed the traffic circle of the main urban area of Qingdao, and made up for the lack of relevant research. The main urban area of Qingdao was identified according to the land price equilibrium theory. Using kernel density analysis and central service area algorithm, supplemented by OD matrix analysis and cost distance analysis, the isochronous traffic circle of Qingdao main city was generated. The traffic circle of Qingdao main urban area was divided into core area transition area and edge area, and its spatial pattern characteristics such as space range and circle form were analyzed and evaluated. According to the analysis results, some concrete suggestions on traffic planning were put forward. The results showed that the average time cost based on function is 0.58 h in the main urban area of Qingdao, and the difference of time cost in different regions was obvious, among which the core area had a high road network density, and the distribution was narrow and long. The transition area was around the core area, the road mileage was short, the network density was the lowest, and the spatial distribution pattern was irregular. The time cost in the edge zone was the highest, but the density of the road network

收稿日期:2023-08-05

基金项目:国家自然科学基金资助项目(72374128);青岛市双百调研工程年度资助项目(2022-B-011);2023年度山东省审计科研资助项目(KT23059);国家审计署内部审计科研资助项目(2007)

第一作者简介:刘冰(1969—),男,山东菏泽人,教授,硕士生导师,博士,主要研究方向为智慧城市。E-mail:LB@sdust.edu.cn

***通信作者简介:**陈丽(1976—),女,山东济南人,高级工程师,硕士,主要研究方向为城乡数据分析审计。E-mail:chenli@sdust.edu.cn

was higher than that in the transition zone, and the spatial form was distributed in a group pattern.

Keywords: transportation circle; network analysis; city function; spatial pattern; Qingdao metropolitan area; kernel density

0 引言

城市等时交通圈是城市建设重要的发展途径之一,是交通可达性、区域发展和交通规划的重要目标,对优化城市交通系统、改善出行条件、提高区域经济发展具有重要意义^[1]。国外学者将等时交通圈结合不同领域理论提出不同的研究方法,例如,研究需要获取高精度点与点之间的距离时可以使用 Dijkstra 网络分析算法^[2];文献[3]提出用插值分析法处理点到面的距离,表达没有被路网覆盖的范围;为了分析和预测路网基础设施的配置情况,方便设计规划方案,使得中心城区能够辐射到更多的地区,文献[4]提出等时交通圈的理念;文献[5]依据网络交通性能和中心地吸引力等指标,研究了马德里市的日交通圈。国内学者根据时长要素将交通圈分为日交流圈、1 h 通勤等时交通圈^[6],并改进了交通圈的构建方法,例如文献[7]利用城市流强度模型构建了东北中心城市的等时交通圈;文献[8]基于网络分析算法和广度优先算法,构建了1 h 交通圈线段集;文献[9]使用栅格数据分析最短通行时间,界定了沈阳市的日交通圈;文献[10]根据城市道路交通网络对广州1 h 交通圈层进行了定量研究;文献[11]通过分析广州市的等时交通圈的面积、各交通方式的面积比值、平高峰面积评价交通状况;文献[12]研究长江经济带城市群中心城市与所有城市之间的2 h 交通圈的空间分布特征;文献[13]对比了南昌市静态交通数据和动态交通数据生成的主城区等时圈,比较了空间可达性方面的差异,归纳出静态数据的可适应性区域。综合国内外的相关研究发现,构建交通圈的方法多样,但对城内通达时间成本考虑较少,导致交通圈的理论结果不同于实际情况^[14]。国内对都市等时交通圈的研究集中在长三角地区和京津地区^[15-16],少有对山东半岛城市的相关研究,并且大多只研究城际之间的交通圈^[17-18]。关于交通圈的研究多集中于实际应用,交通圈的构建、空间分布格局特征的分析 and 评价方法不够丰富,对交通圈在城市职能上的影响难以定量分析。

青岛市作为沿海重要经济城市,正在积极打造青岛都市圈,但青岛市主城区城市职能交通圈

的具体范围、形状、职能作用等特征依然较为模糊。首先,本研究以青岛市不同的城市职能为分类依据,利用核密度分析法选择主城区不同类型的职能中心地;其次,分别分析每个职能中心地的等时交通圈;再次,使用加权分析法合成主城区职能的综合圈;最后,分析各个职能圈的辐射区域、服务形态等空间格局特征。以此为基础,构建综合等时圈,并对其空间分布格局、形成原因进行分析和评价,以弥补关于青岛市交通圈相关研究的缺失。因此,本研究针对青岛市交通圈及其城市空间格局、职能影响等进行定性和定量分析研究,可以更准确地评价青岛主城区、青岛都市圈的交通空间格局特征,对合理规划城市发展道路、促进青岛城内经济快速发展、带动周围城区进步、增强青岛市与外部的交流合作、提高交通便利性具有重要价值。

1 研究区域及数据处理

1.1 研究区概况

青岛市总面积 11 293 km²,坐落于山东省东部,与烟台市、潍坊市和日照市相邻,是我国重要的沿海城市之一,具有重要的经济和交通地位。在经济建设方面,青岛依靠良好的交通设施,成为重要的经济中心。在交通建设方面,青岛交通网络建设发展较快,交通便利。青岛主城区面积为 1 448 km²,主要包括市南区、市北区、崂山区、李沧区、城阳区和黄岛区。

1.2 数据源

数据主要来自于开放街道图(open street map, OSM)网络开源地图网站和高德地图,分为基础底图数据、交通路网数据、交通设施数据和城市职能数据,具体如下。

(1) 基础底图数据。获取精确到乡镇级别的行政区划底图,以便提高对研究区域的分析精度。

(2) 交通路网数据。为获得准确的、符合最新情况的路网数据,选择从 OSM 网站获取青岛市的基本数据,包括高速公路、国道、省道、县道以及青岛市内的主干路、行人道路数据等,属性数据包括道路名称、等级、长度和宽度等。

(3) 交通设施数据。利用高德地图工具,获取

道路路口数据、铁路数据、公路出入口数据,进行空间网络分析,了解城市交通布局与运行情况。

(4) 城市职能数据。在高德地图应用程序接口(application programming interface, API)中下载青岛的兴趣点(point of interest, POI)数据,通过职能数据的地理位置了解城市功能和特征。

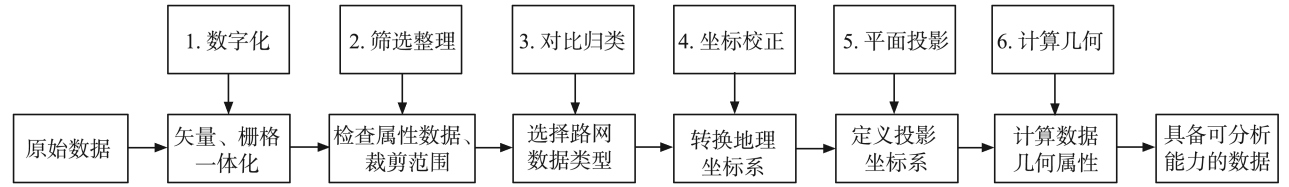


图1 数据预处理流程图

Fig.1 Pre-processing flow chart of data

(1) 原始数据数字化。原始数据借助 ArcGIS10.6软件进行数字化,形成矢量、栅格一体化分层数据,支持交通圈数据分析,提升数据可视化效果。

(2) 数据筛选和整理。OSM 开源地图数据具有多样性、复杂性,需在已下载的数据中筛选属性数据,删除冗余和混杂的数据,只保留 shp 数据,对底图、路网、交通设施、职能数据进行查漏补缺,使其为完整的青岛市数据,并将其裁剪、融合,进行统一整理,以方便对数据的计算。例如路网数据,对路网的 shp 图层属性数据进行筛选,使得图层里的属性数据等为青岛市内数据,删除超出青岛市行政区划部分的数据,保证数据的完整性。

(3) 数据对比和归类。参考对比天地图规范等级的路网数据,将多源数据归纳为铁路、高速公路、国道、省道、县道等 8 种道路数据。

(4) 坐标校正。OSM 数据采用 WGS84 坐标系,高德地图是 GCS1980 坐标系,坐标系不同会导致地图无法统一加载,不能对数据进行交互与整合。因此使用坐标系转换工具 ArcGIS10.6 软件,将数据坐标系统一为 WGS84 坐标系。

(5) 数据的平面投影。将空间坐标投影至平面,以便于绘制地图、测量距离和面积等。考虑青岛的地理范围,将空间坐标投影至 WGS_1984_UTM_Zone_51N 坐标系。

(6) 计算几何。使用 ArcGIS10.6 软件,在各图层属性表中依据交通道路数据进行交通网络路线长度计算,获取路网的延展信息。

原始数据经过 6 个步骤的预处理,数据层次清晰、属性完整,为下一步的研究分析做好准备。

1.3 数据处理

本研究涉及数据种类繁多,混杂了大量无用数据。因此需要将原始数据进行预处理。预处理流程为数字化、筛选整理、对比归类、坐标校正、平面投影、计算几何等,预处理流程如图 1 所示。

2 理论基础与技术路线

2.1 地价均衡理论及划分

在城区划分方面,地价均衡理论提供了一些相关概念和原则,作为城市土地价值分布和划分城区的依据,其理论内容包含地价梯度、地价分区、土地用途区划和地价形态等。地价梯度指城市土地价格在空间上的变化规律,地价分区根据不同地区土地价格的差异性将城市划分为不同区域,土地用途区划是根据功能需求将城市划分为不同的用途区域,地价形态反映了城市不同地区土地价格的分布特征和格局。以上内容为土地资源合理配置和城市规划提供了理论支持。

在《青岛城市总体规划(2011—2020)》中,市南区主要为行政、金融商务、旅游中心,市北区为商务商业和文教中心,李沧区发展为商务中心,崂山区主要发展为金融商业、文化会展和旅游度假区。通过结合地价均衡理论和城市建成区行政区划单元划分法,将青岛主城区划分为五大职能类别:旅游休闲、金融商业、文化教育、行政办公和商务住宅职能。

2.2 技术路线

本研究以青岛主城区的交通路网数据、交通设施数据、城市职能数据和基础底图数据为数据基础,探讨青岛主城区的交通圈空间格局。研究技术路线如图 2 所示。

地价均衡理论通过地价梯度、分区、用途等为城市职能类型的划分提供了依据。首先,基于地价均衡理论划分城市职能类型;其次,通过核密度分析,计算各职能类型区域的密度,以确定城市职能中心,并将其作为交通圈中心,构建基于职能的等

时交通圈;再次,对生成的数据进行加权分析,给予各职能圈权重,进行加权求和,依据求和结果将生成的综合交通等时圈归为核心区、过渡区、边缘区3类;最后,对等时圈的空间格局进行分析和评价,提出交通规划方面的建议。青岛核心区具有最高的

路网密度和道路长度,是城市开发与建设的重点地区,具有完善的道路系统;过渡区路网密度低,空间分布格局不规则,致使辐射影响力降低;边缘区外部路网密度低,与其他两区连接道路少,空间形态呈组团式分布。

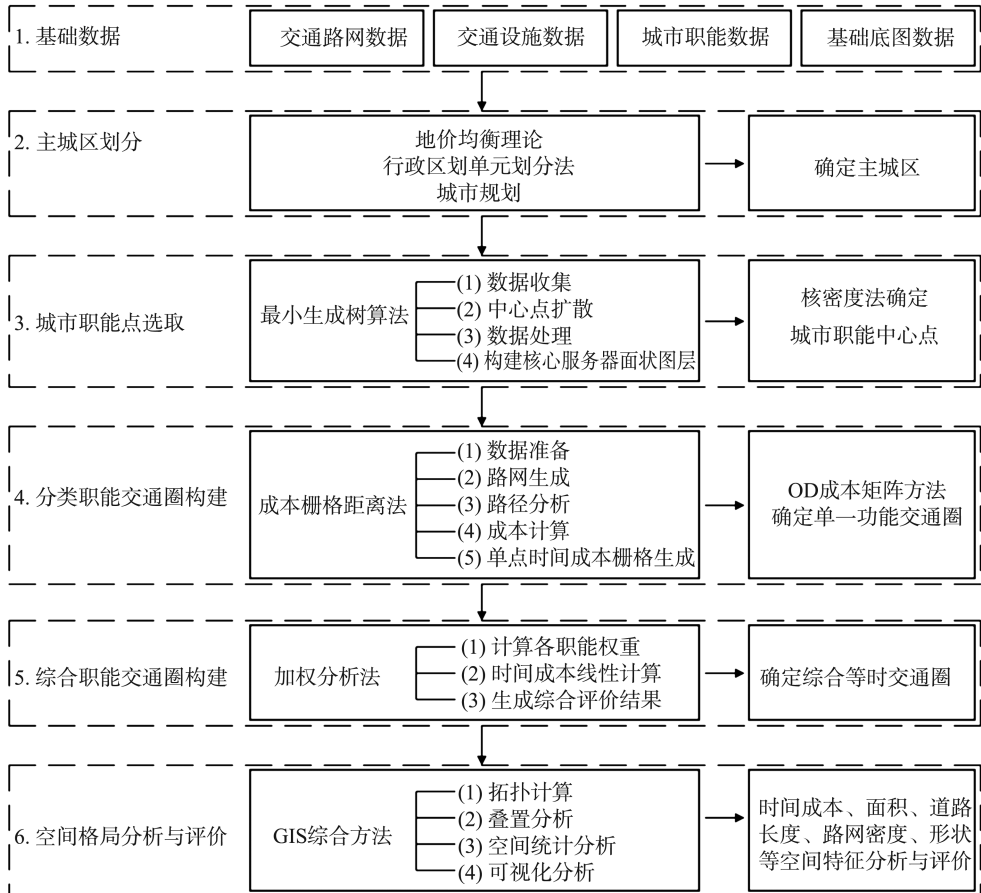


图2 技术路线

Fig.2 Technology roadmap

3 等时交通圈的构建方法与步骤

等时交通圈是指在同一时间范围内,从一个特定地点出发,能够到达的所有地点所构成的区域。交通圈划分的依据通常是城市规划和交通流量。本研究应用网络分析计算路网数据的拓扑关系、几何属性等分析青岛市主城区的交通出行情况,计算时间成本。在构建等时交通圈的过程中,主要采用了核密度分析法、最小生成树算法、成本栅格距离法和源点终点(origin-destination, OD)矩阵分析模型等网络分析方法,经城市职能中心选取、中心区分析、可达时间成本计算、多通达点确定构建等时交通圈。

3.1 基于核密度分析法的城市职能中心选取

核密度分析法是一种空间统计方法,用于分析

点、面数据在地理空间中的分布密度。该方法通过在每个点周围放置一个核函数,并计算核函数对整个空间产生的影响,从而确定不同区域的密度水平。核密度

$$f_n(x) = \frac{1}{n\delta^2} \sum_{i=1}^n k\left(\frac{d_i}{n}\right),$$

式中, $f_n(x)$ 为 x 处的核密度, n 为要素个数, δ 为平滑参数, k 为二次核函数, d_i 为 x 的位置与第 i 个要素的距离。

3.2 以最小生成树算法为核心的中心服务区分析

以最小生成树算法为核心的中心服务区分析是一种基于网络分析的方法,用于确定城市或地区的中心服务区域。该方法基于城市内部各个地点之间的距离或通行成本,通过构建最小生成树确定中心服务区域。最小生成树算法是一种用于解决最优路径问题的算法,其目标是选择连接所有节点

的最小总成本的树形结构。以最小生成树算法为核心的中心服务区分析是一种基于网络分析的方法,通过构建最小成本的连接网络,确定中心服务区以优化资源分配和服务布局。算法具体步骤如下。

(1) 数据集采集与构建。采集区域内路网数据,构建路网数据集。包括分析道路的类型、设置不同类型道路的时速、计算不同路网数据所需的总时间成本。

(2) 中心点扩散。从最小生成树中确定一个中心节点或多个中心节点。中心节点可以是树中的一个节点,也可以是多个节点组成的中心区域。中心服务区范围沿着道路网络由中心点向外扩散。

(3) 数据处理。扩散完成后,对数据进行数据处理。

(4) 构建中心服务区面状图层。将青岛主城区通过市辖区划法划分为最小统计单元,构建中心服务区面状图层。

3.3 依赖成本栅格距离法的单点可达时间成本计算

网络分析算法具有点状数据精度高的特点,其对道路连通性要求较高,但该方法在构建交通圈面状数据时会产生精度损耗。成本栅格距离可以很好地实现点线面的扩展,生成较高精度的面状数据^[19]。通过成本栅格距离法,结合路网长度和出行速度,计算单点可达时间成本。时间成本是对空间上每个点的时间距离进行分析计算。时间成本

$$T = \sum_{i=1}^n S_i / v_i,$$

式中: T 为从起点蔓延到终点的总时间成本, h ; S_i 为道路的长度, km ; v_i 为某一路段的出行速度, km/h 。

时间成本计算步骤如下。

(1) 数据准备。获取所需的栅格数据,包括道路网络数据、交通状况数据、地形数据等。

(2) 路网生成。将道路网络数据转换为栅格矩阵形式,其中每个栅格的属性表示交通成本。以栅格中心点为节点,对边取值,构建一个道路栅格网络,用于路径分析。

(3) 路径分析。使用路径分析算法,从起始点到各个栅格单元计算最短路径或最佳路径。路径分析考虑了道路网络上的距离、交通状况等因素,以确定最优路径。

(4) 成本计算。根据路径分析的结果,为每个栅格单元分配一个可达时间成本。可达时间成本

可以根据实际情况定义,例如通过距离、时间、交通速度等计算得出。

(5) 可达时间成本栅格生成。基于计算得到的成本,生成一个可达时间成本栅格图,其中每个栅格单元的值表示从起始点到该位置的可达时间成本。

3.4 基于 OD 成本矩阵模型的多点集合确定

OD 成本矩阵模型是一种用于描述每个起始点到每个目的点的成本的矩阵,是基于交通网络和成本计算方法构建的,提供了从起始点到目的地的交通成本信息,而且可以指定要查找的目的地数量和最大搜索距离^[20]。该方法主要用于研究评估不同起始点和目的地点之间的交通成本范围及差异,具有相同时间成本的可达点构成了等时交通点的集合。

3.5 基于加权分析法的等时交通圈构建

不同出行方式的交通成本不同,因此交通圈的大小也有所不同。从分类职能中心地出发,沿着城内道路网络数据集向外扩展,直到达到主城区边界为止,根据所得到的路径和具体交通方式的时间成本划定青岛市主城区的等时交通圈;利用加权分析法为五类职能圈赋予权重,然后计算不同职能圈的时间成本,得到综合等时圈的结果。交通圈时间成本

$$C_T = \sum_{i=1}^n C_i W_i, \quad i=1, 2, \dots, n,$$

式中: C_i 表示第*i*个样本点; W_i 为该样本点权重,由于样本点选取在城市职能中心的核密度最高区域,所以将五类职能圈的权重统一定为均一值; n 为样本点总个数。

4 城内等时交通圈的构建

4.1 城内职能中心选取

为了解青岛市职能空间分布格局,选取城市职能样本点作为主城区交通圈的中心,并以此为起点,对主城区交通圈进行核密度分析。根据核密度分析结果,归纳出不同职能中心地的空间格局特点^[21-22],根据城市职能的分类,选择具有代表性的城市职能点 POI 数据计算核密度,采用自然间断法对城市职能点进行分类,构建主城区等时交通圈,并对主城区等时交通圈进行分析评价。等时交通圈反映了主城区某一职能的空间分布格局、交通可达区域、辐射范围。青岛主城区的旅游资源以江苏路和九水路为核心区域。香港中路街道区域主要

是金融职能;商务住宅区职能点集中在湛山路、八大湖、敦化路、台东、宁夏路、镇江路、香港中路以及登州路等地;文教设施分布广泛,主要有江苏路、香港中路、八大湖、金門路街道、辽宁路、台东、镇江路街道等;行政场所聚集于市南区和市北区交界处的

街道。

4.2 旅游职能交通圈构建

为确保研究结果的精确性,结合青岛主城区实际情况,选择的最小行政区划单元为街道。依据交通路网数据类型,统计各交通方式时速要求如表1。

表1 主城区中不同道路交通时速设置

Table 1 Traffic speed settings for different roads in the main urban area

道路类型 速度/(km·h ⁻¹)	高速公路	国道	省道	县道	城市主干道	行人道路
	120	80	60	40	40	4

以旅游职能交通圈的构建为例,采用基于最小生成树法的中心服务区算法,从选取出的多个旅游职能中心沿路网扩散至城市边界,依据各路径累加的成本指标划分旅游职能等时交通圈,完成由点到线图层的处理。考虑到现实情况复杂,如发生交通事故、堵车、等红绿灯等,故在各个行政单元中,除去以上复杂情况,其他按照成本最大值进行赋值统计,构建分类的面图层。

旅游职能时间成本进行可视化,计算各类别的方差,使得分类差异最大化。将其分为5档,即 $0 < t < 0.33$ h, $0.33 \text{ h} \leq t < 0.51$ h, $0.51 \text{ h} \leq t < 0.65$ h, $0.65 \text{ h} \leq t < 0.75$ h, $0.75 \text{ h} \leq t < 0.88$ h,从第I档到第V档交通时间成本递增。

选择不同的旅游职能中心为出发点沿交通路网蔓延至青岛市城市边界,最大成本0.88 h出现在主城区边缘区域,具体见表2。

在数据聚类方法中选择自然间断点分级法对

表2 基于不同旅游职能中心的等时交通圈分档分布表

Table 2 Distribution of isochronous transportation circles based on different tourism intelligent centers

档次	时长成本 t/h	等时交通圈分布	
		基于旅游职能中心 1	基于旅游职能中心 2
第 I 档	$0 < t < 0.33$	主要位于青银高速和重庆高架路之间,南起辽阳东路,北到城阳正阳街道的区域路网	主要位于市南区、市北区和李沧区南部的路网
第 II 档	$0.33 \leq t < 0.51$	主要位于市南区、市北区、红岛区等靠近海岸的交通路网和城阳靠西侧的行政区域路网	主要位于城阳区、崂山区西部和黄岛区黄河路以南的路网
第 III 档	$0.51 \leq t < 0.65$	主要位于平度区划内的路网	主要位于平度市、黄岛区黄河路以北区域的路网
第 IV 档	$0.65 \leq t < 0.75$	主要位于黄岛区红石崖街道和黄岛街道的路网	主要位于平度市西部、黄岛区西边和即墨东北侧的区域路网
第 V 档	$0.75 \leq t < 0.88$	主要位于经济技术开发区的路网	主要是即墨区南部区域路网

利用加权分析法,将按不同旅游职能中心点构建的交通圈赋予权重,线性计算青岛市旅游职能交通圈的时间成本。

4.3 其他职能交通圈构建

同理,依据选取出的科教文化、商务住宅、行政办公、金融商业职能中心点,划分交通圈并计算各分类结果的时间成本,通过给予各自权重,对时间成本加权求和,得到各职能交通圈最终结果。

4.4 综合等时交通圈构建

对以上计算的5类职能交通圈时间成本结果进行加权分析,分别赋予各自权重,线性计算青岛主城区综合等时交通圈的时间成本,依据结果将研究区域分为核心区、过渡区、边缘区等3类。其中市南区、市北区、李沧区、城阳街道、夏庄街道位于核心区,红岛、流亭街道、沙子口街道、北宅街道、惜福镇

街道等位于过渡区,黄岛区、平度市、即墨区等位于边缘区。核心区交通时间成本最小,过渡区次之,边缘区交通时间成本最大。

5 研究结果及分析

5.1 GIS 综合分析方法

利用GIS空间分析方法对综合等时圈数据进行分析与评价,对图形的几何特征进行拓扑计算与分析,得到几何对象的几何面积与长度等属性信息。对各职能交通圈进行叠置分析,将其合并、联合以便数据融合。由于数据本身具有空间性、自相关性等特征,对数据进行空间统计分析,统计分析的相关结果,以便直观地了解数据的变化与结构特征等。最后,对数据进行可视化分析,方便决策。

5.2 分类职能交通圈空间格局分析

综合分析结果表明,分类职能交通圈中,金融与文教的平均时间成本最高,其次是旅游,然后是商务住宅,行政办公最低。青岛综合职能交通圈的平均时间成本为0.58 h,旅游休闲职能交通圈的平均时间成本为0.60 h,金融和文教职能交通圈的平均时间成本为0.61 h,商务住宅职能交通圈的平均时间成本为0.56 h,行政办公职能交通圈的最低时间成本为0.52 h。随着平均时间成本的增高,交通圈辐射能力减弱,对主城区人员活动具有消极影响。

胶州湾西岸近海地区职能交通圈时间成本较低,直接原因是受胶州湾大桥的影响,红岛街道和红石崖街道的各类职能圈的时间成本形成了低阈值地带;城阳区西部受胶州湾大桥影响较小,较高的职能交通圈时间成本没有明显改善。虽然胶州湾隧道连通了东西岸,但通达时间成本仍然较高,黄岛中部地区、辛安街道及灵珠山街道仍然具有较高的通达时间成本。胶州湾东岸王哥庄街道由于地形多丘陵山地,通达时间成本也很高。

青岛作为沿海旅游城市,交通便利对于其旅游

表3 综合交通圈层的面积、道路长度、路网密度统计

Table 3 Statistics of the area, road length, and road network density of the integrated traffic circle layer

圈层类型	时间成本 t/h	面积/ km^2	道路长度/ km	路网密度/ $(km \cdot km^{-2})$	占主城区面积比例/ $\%$
核心区	$t \leq 0.50$	393	2 500	6.36	27.1
过渡区	$0.50 < t \leq 0.60$	355	792	2.23	24.6
边缘区	$0.60 < t$	700	1 929	2.76	48.3

统计结果显示,青岛核心区面积为 $393 km^2$,过渡区面积为 $355 km^2$,边缘区面积为 $700 km^2$ 。青岛主城区内基于职能的平均时间成本为0.58 h,即35 min交通圈,不同街区的时间成本有明显差距。核心区中低时间成本区域集中在市南区、市北区、李沧区,路网密度较高,职能服务范围呈南北狭长分布。过渡区在核心区周围,以崂山区、城阳区东部为代表,时间成本为30~36 min,该区域道路里程较短,路网密度最低,空间分布格局不规则。最大时间成本在边缘区,为0.72 h,表示平均通行时间在45 min以内。边缘区的交通时间成本最高,但路网密度比过渡区高,空间形态呈组团式分布。

核心区占主城区面积的27.1%,表明主城区将近1/3的区域半小时内可以到达职能中心点。核心区主要包括市南区、市北区、崂山区的西南部、城阳区的东北部及李沧区。由于该区域具有重要的政治、经济和文化作用,因此职能中心地的数量较多,距离职能中心的交通时间成本较低。因为其路网密度较高,小汽车的出行效率较高^[23],所以该区域

业的发展至关重要。旅游休闲职能交通圈的时间成本高于平均值,低于平均时间成本的区域呈团状分布,如李村、浮山路、虎山路街道区域为旅游职能等时圈的核心区域,时间成本较低。由于各行政办公区主要分布在市北、市南和城阳区,空间布局不规则,行政职能交通圈时间成本低阈值区域面积最大,交通便利。商务住宅职能交通圈以珠海路街道、八大湖、华阳路、湛山为代表,主要时间成本分布服从中心向边缘逐渐增大的空间分布规律。文教职能交通圈服从中心向边缘区域时间成本逐渐增大的规律,西海岸另外布局了文教职能区,相对于西海岸其他职能交通圈的时间成本较低。青岛金融职能交通圈和文教、商务住宅职能交通圈空间分布规律较为一致,时间成本低阈值区域为香港中路街道周围,高阈值分布在城市边缘区域。

5.3 综合交通圈空间格局分析

基于职能圈平均时间成本,划分青岛主城区内综合交通圈,包括核心区、过渡区和边缘区3部分,并统计各部分区域的面积、道路长度、路网密度等几何数据,具体信息如表3所示。

的交通通达性较好。

过渡区占主城区面积的24.6%,略小于核心区的面积,地理位置在核心区周围。过渡区到城市职能中心的时间为30~36 min。由于跨海大桥连接红岛街道,该区域的交通可达性高于周围地区。

边缘区占主城区面积的48.3%,面积最大,地理范围包括崂山区东部、城阳区西北部及黄岛区,呈团状分布。边缘区到分类职能中心点的时间成本超过36 min,距离城市中心较远。边缘区由于地形的原因,交通可达性较低。

6 结束语

(1)青岛市分类职能等时交通圈中时间成本最大的分别是文教职能交通圈与旅游职能交通圈。由于海湾影响了胶州湾东西两岸的交通,交通时间成本较高,说明东西两岸的文教职能与旅游职能辐射能力较弱。(2)核心区通勤时间成本最低,是城市开发与建设的重点地区。过渡区、边缘区、核心

区的路网密度依次递增。核心区具有完善的道路系统,路网密度约为边缘区、过渡区的3倍。边缘区与核心区、过渡区所连接的道路较少,尽管其内部道路网络密度相较于过渡区较高,但其辐射能力仍然较低。过渡区位于主城区边缘,较低的路网密度导致职能的辐射能力减弱。

主要的策略建议有:(1)完善和规划边缘区的职能场所建设规划,增加更多的出行基础设施;(2)重点规划边缘区与核心区、过渡区之间的连通性,如下调胶州湾两岸跨海隧道的收费标准,修建轨道快速交通基础设施,加快修建第二隧道连通东岸和辛安街道;(3)合理规划城市职能点布局,如黄岛区和城阳区多属于边缘区,丰富两区的城市职能功能,增强青岛市城市职能的辐射影响。

本研究综合分析城市职能等时交通圈,揭示了一些关于青岛交通圈非常有价值的信息,弥补了关于青岛市交通圈相关研究的欠缺。但未将车流量、堵车、换乘和分段限速等复杂情况纳入研究范围,深入研究需要考虑复杂情况下的青岛城际交通圈,更好地实现青岛1h交通圈目标。

参考文献:

- [1] 李仁涵. 我国大都市交通圈发展模式的研究[D]. 上海: 同济大学, 2007.
LI Renhan. Study the model for metropolitan area commuting transport[D]. Shanghai: Tongji University, 2007.
- [2] ZHU X, LIU S X. Analysis of the impact of the MRT system on accessibility in Singapore using an integrated GIS tool[J]. *Journal of Transport Geography*, 2003, 12(2): 89-101.
- [3] MILLER H J, WU Y H. GIS software for measuring space-time accessibility in transportation planning and analysis[J]. *GeoInformatica*, 2000, 4(2): 141-159.
- [4] RADKE J, MU L. Spatial decompositions, modeling and mapping service regions to predict access to social programs[J]. *Geographic Information Sciences*, 2000, 6(2): 105-112.
- [5] GÓMEZ B M, SALAS-OLMEDO M H, GARCÍA-PALOMARES J C, et al. Dynamic accessibility using big data: the role of the changing conditions of network congestion and destination attractiveness[J]. *Networks and Spatial Economics*, 2018, 18(2): 273-290.
- [6] 王德, 刘镔. 上海市一日交流圈的空间特征和动态变化研究[J]. *城市规划汇刊*, 2003(3): 3-10.
WANG De, LIU Kai. Study on spatial characteristics and dynamic changes of one-day communication circle in Shanghai[J]. *Urban Planning Forum*, 2003(3): 3-10.
- [7] 胡海峰. 基于城市流与等时交通圈的东北地区城市经济区划研究[D]. 长春: 东北师范大学, 2013.
HU Haifeng. The research on the northeast city economic regionalization based on city flow and equal time interval transportation circle[D]. Changchun: Northeast Normal University, 2013.
- [8] 黄翌, 李陈, 欧向军, 等. 城际“1小时交通圈”地学定量研究: 以上海主城区为例[J]. *地理科学*, 2013, 33(2): 157-166.
HUANG Yi, LI Chen, OU Xiangjun, et al. Geoscience quantitative research on intercity “one hour traffic circle”: a case of Shanghai main city[J]. *Geography Science*, 2013, 33(2): 157-166.
- [9] 冯章献. 基于一日交流圈的沈阳大都市圈空间范围界定与整合发展研究[D]. 长春: 东北师范大学, 2006.
FENG Zhangxian. The definition of spatial area of SMA based on the 1-day transportation circle and research on integrative development of SMR[D]. Changchun: Northeast Normal University, 2006.
- [10] 张亦汉, 褚浣桦. 基于城市交通网络的广州“1小时交通圈”划分[J]. *热带地理*, 2013, 33(6): 695-702.
ZHANG Yihan, CHU Huanhua. One-hour traffic circle of Guangzhou based on transportation network[J]. *Tropical Geography*, 2013, 33(6): 695-702.
- [11] 王会, 曾志铎, 杨卫军, 等. 基于互联网大数据的城市等时交通圈研究[J]. *地理空间信息*, 2021, 19(8): 39-41.
WANG Hui, ZENG Zhihua, YANG Weijun, et al. Research on urban isochronous transportation circle based on internet big data[J]. *Geospatial Information*, 2021, 19(8): 39-41.
- [12] 汪德根, 范子祺, 赵美凤. 长江经济带主要城市群2h出行交通圈格局特征[J]. *地理研究*, 2022, 41(5): 1388-1406.
WANG Degen, FAN Ziqi, ZHAO Meifeng. Spatial pattern of 2 h travel circle of major urban agglomerations in the Yangtze River economic belt[J]. *Geographical Research*, 2022, 41(5): 1388-1406.
- [13] 刘琳琳, 郑伯红, 骆晨. 基于交通大数据的南昌市中心城区等时圈划分及特征分析[J]. *地球信息科学学报*, 2022, 24(2): 220-234.
LIU Linlin, ZHENG Bohong, LUO Chen. Division and feature analysis of Nanchang urban center isochrone maps based on traffic big data[J]. *Journal of Geo-information Science*, 2022, 24(2): 220-234.
- [14] HU R S, DONG S C, ZHAO Y H, et al. Assessing potential spatial accessibility of health services in rural China: a case study of Donghai county[J]. *BioMed Central*, 2013, 12(1): 35.
- [15] 邓羽, 蔡建明, 杨振山, 等. 北京城区交通时间可达性

- 测度及其空间特征分析[J].地理学报, 2012, 67(2): 169-178.
- DENG Yu, CAI Jianming, YANG Zhengshan, et al. Measuring time accessibility with its spatial characteristics in urban areas of Beijing[J]. Acta Geographica Sinica, 2012, 67(2):169-178.
- [16] 王德, 刘锴, 耿慧志. 沪宁杭地区城市一日交流圈的划分与研究[J]. 城市规划汇刊, 2001(5):38-44.
- WANG De, LIU Kai, GENG Huizhi. The study of daily communication area in Hu-Ning-Hang region[J]. Urban Planning Forum, 2001(5): 38-44.
- [17] 吴韬, 严建伟. 城市轨道交通站点可达性度量及评价: 以天津市为例[J]. 地理与地理信息科学, 2020, 36(1): 75-81.
- WU Tao, YAN Jianwei. Accessibility measurement and evaluation of urban rail transit stations: an application in Tianjin[J]. Geography and Geo-Information Science, 2020, 36(1):75-81.
- [18] 曾月娥, 伍世代. 厦漳泉城市群小时交通圈研究[J]. 地理科学进展, 2016, 35(8):975-982.
- ZENG Yuee, WU Shidai. Intercity actual hourly communication area of Xiamen-Zhangzhou-Quanzhou[J]. Progress in Geography, 2016, 35(8):975-982.
- [19] 陈卓, 金凤君. 北京市等时交通圈的范围、形态与结构特征[J]. 地理科学进展, 2016, 35(3):389-398.
- CHEN Zhuo, JIN Fengjun. Scope, shape and structural characteristics of traffic circles of equal travel time in Beijing[J]. Progress in Geography, 2016, 35(3): 389-398.
- [20] 吴超楠. 京津冀交通运输与区域经济耦合研究[D]. 北京:北京交通大学, 2017.
- WU Chaonan. The coupling study of transportation and regional economy between Beijing-Tianjin-Hebei [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2017.
- [21] 杜臣昌, 和娴. 青岛市东岸城区城市功能空间结构研究[J]. 青岛职业技术学院学报, 2019, 32(5):13-18.
- DU Chenchang, HE Xian. Study on urban functional spatial structure of east coast district of Qingdao city[J]. Journal of Qingdao Technical College, 2019, 32(5): 13-18.
- [22] LI M Y, SHEN Z J, HAO X H. Revealing the relationship between spatio-temporal distribution of population and urban function with social media data[J]. Geo Journal, 2016, 81(6): 919-935.
- [23] YANG W Y, CHEN B Y, CAO X S, et al. The spatial characteristics and influencing factors of modal accessibility gaps: a case study for Guangzhou, China [J]. Journal of Transport Geography, 2017, 60: 21-32.
- (编辑:郭少华)

(上接第26页)

- [101] FAJKUS M, FRIDRICH M, NEDOMA J, et al. PDMS-FBG-based fiber optic system for traffic monitoring in urban areas[J]. IEEE Access, 2020, 8: 127648-127658.
- [102] 吴建清, 王其峰, 厉周缘, 等. 互通式立交风险冲突识别与预警综述[J]. 山东大学学报(工学版), 2022, 52(6): 1-13.
- WU Jianqing, WANG Qifeng, LI Zhouyuan, et al. Review of risk conflict identification and early warning for interchange [J]. Journal of Shandong University (Engineering Science), 2022, 52(6): 1-13.
- [103] 李晨曦. 基于分布式光纤传感技术的车辆撞击道路护栏检测研究[J]. 中国水运(下半月), 2019, 19(7): 128-129.
- LI Chenxi. Research on vehicle collision detection of road guardrails based on distributed fiber optic sensing technology[J]. China Water Transport, 2019, 19(7): 128-129.
- [104] 刘一梦. “双盲”条件下分布式光纤振动传感信号多源分离方法[D]. 成都: 电子科技大学, 2022.
- LIU Yimeng. Multi-source separation method of distributed optical fiber vibration sensing signal under two "blind" conditions[D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2022.
- (编辑:孙亚彤)