
高铁出行的分时段区域可达性评价方法

——以湖南省为例^{*1}

赵烁¹ 钱晓彤² 胡心磊¹ 史峰^{*1}

(1. 中南大学交通运输工程学院, 中国湖南长沙 410075;

2. 武汉地铁运营有限公司, 中国湖北武汉 430030)

【摘要】: 高速铁路的运营促进了区域之间的联系, 列车开行频率对各区域可达性产生了显著影响。一定区域内的可达性经常被用于评价区域空间结构的优劣。文章将可达性的概念扩展为分时段可达性, 以县级行政建制为基本单元节点, 采用加权平均出行时间为指标描述各节点的分时段可达性, 结合高速铁路及道路网络, 定义不同交通方式的出行时间费用。以湖南省为例, 通过 ArcGIS 计算得到省内 122 个节点在 17 个时段内的分时段可达性。根据各节点的分时段可达性值, 得到湖南省 122 个节点的最佳出行时段 Voronoi 图以及最佳出行时段的空间划分, 为区域空间结构评价提供了新的方法。

【关键词】: 综合交通运输; 分时段可达性; 加权平均出行时间; 县级行政建制; 高速铁路

【中图分类号】: U113 **【文献标志码】**: A **【文章编号】**: 1000 - 8462 (2017) 07 - 0040 - 06

DOI: 10.15957/j.cnki.jjdl.2017.07.006

可达性指一个地方到另一个地方的容易程度。可达性的提高可减少城市之间的时间距离^[1], 一定区域范围内的可达性指标经常被用于评价区域空间结构的优劣, 反映各个区域的潜在发展趋势。多种交通方式作为联系各个区域之间的纽带, 每一种交通方式的旅行速度与服务时间对可达性都有着不同的贡献。交通方式的发展与改善会加快城市与城市之间的交流, 加强城镇的对外信息交流与经济交流, 影响各个区域的发展潜力。

1959 年, 可达性的概念首次被提出, Hansen 将其定义为交通网络中各节点相互之间作用机会的大小^[2]。2001 年, Gutiérrez 运用加权平均出行时间计算了马德里—巴塞罗那—法国边界的可达性^[3]。Li 等采用最短时间距离指标分析了中国城市的可达性, 主要集中在国家尺度的陆路交通网络的可达性研究上^[4]。张兵等运用时间距离计算了湖南公路网络的可达性^[5]。金凤君等提出了可达性系数的概念并以此分析中国铁路网络扩展及可达性^[6]。

¹ 收稿时间: 2016 - 12 - 17; 修回时间: 2017 - 02 - 22

基金项目: 国家自然科学基金项目 (U1334207); 中南大学中央高校基本科研业务费专项资金 (2016zzts051)

作者简介: 赵烁 (1990—), 女, 河南平顶山人, 博士研究生。主要研究方向为交通运输规划与管理。E-mail: zhaoshuo@csu.edu.cn。

***通讯作者**: 史峰 (1956—), 男, 湖南芷江人, 博士, 教授, 博士生导师。主要研究方向为交通运输营运管理与信息系统。E-mail: shifeng@csu.edu.cn。

我国的高速铁路作为一种快速交通方式，目前已经形成了高速铁路网络，越来越多的城市被高速铁路连接起来。由于高速铁路适用于大众化出行，可以根据旅客时变需求规律开行高速列车，对各区域的可达性产生了显著影响。蒋海兵等^[7]针对目前可达性研究技术的局限，设计网络分析与成本栅格加权集成法，并应用该方法生成高铁通车后城市等时圈图；利用日常可达性、潜力值与加权平均时间，比较有无京沪高铁两种情景下京沪地区中心城市可达性空间格局变化，探讨高铁对中心城市可达性的影响，并采用场强模型计算高铁通车前后中心城市腹地范围。刘辉等将 GIS 网络分析和社会网络分析结合起来，定量测度不同交通模式下京津冀城市间可达性变化，分析可达性对城市关系网络节点集中度的影响^[8]。姜博等综合测度哈大铁路开通前后沿线城市的可达性及其空间格局的演变^[9]。冯长春等运用加权平均旅行时间研究“四纵四横”高速铁路对中国省际可达性的影响^[10]。蒋海兵等利用相关参数，对远期规划高铁网络对全国陆路可达性的空间格局与变化进行分析^[11]。

对于各个时段，只要有高铁列车开行，就明显提升了可达性指标。因此，在考虑高速铁路对区域空间结构的影响时，不仅可以从全天的角度入手，还可以分时段分析，甚至可以采用动态分析手段。分时段可达性是全天可达性的扩展，描述每一个时段出发旅客的可达性指标。对于任意时段、点对和交通方式，如果在该时段内可以从点对的起点出发（不一定到达），则粗略地认为该时段可以采用这种交通方式在这个点对之间出行。分时段可达性是一种静态分析方法，并不要求出行路径上换乘的时间接续。而动态可达性则采用精准的时空路径来描述任意时刻出发旅客的可达性指标。本文采用分时段可达性的分析方法，研究高速铁路对区域可达性的影响。

1 评价对象及可达性的评价指标

1.1 评价对象的选择

选择一定规模的区域空间作为评价对象，可以是市级或县级行政区域，评价对象的不同选择会影响评价结果的精确度，选择县级行政区域作为评价对象可以增加区域内的评价个体数量，使得评价个体在区域内的分布更加均匀，结果更加精确。县级行政区域包括县级市、县以及市辖区。

1.2 评价指标

度量评价对象的可达性指标主要有最短距离、可达性系数、加权平均出行时间、经济潜力模型等等。为突出交通方式对可达性的影响，本文采用加权平均出行时间的方法。加权平均出行时间是评价对象到各个经济中心点的时间测度，而评价结果不仅仅在评价对象与经济中心点的空间位置关系上，更与二者之间的交通连接方式息息相关。加权平均出行时间越长可达性越低，相反地，时间越短可达性就越高，计算公式如下：

$$A_r = \sum_{s=1}^n (T_{rs} \times M_s) / \sum_{s=1}^n M_s \quad (1)$$

式中： A_r 为评价对象 r 的可达性； T_{rs} 表示评价对象 r 到达经济中心 s 所花费的最短时间，也可以定义为最小出行费用； M_s 为中心点的质量，也可以定义为经济中心的吸引力，通常可以用经济总量来表明； n 为经济中心点的数量。

2 分时段可达性计算方法

讨论分时段可达性时，交通方式大体上可以分为 2 大类，一类是道路交通，一类是轨道交通。道路交通包括普通公路、高速公路和城市道路；轨道交通包括普通铁路、高速铁路和城市轨道交通。节点之间的交通网络主要由城市道路交通、普通公路、高速公路及高速铁路组成，并在 ArcGIS 中完成交通网络的构造。连通规则为高速铁路在站点处连通，高速公路在收费站处连通，城市道路交通与普通公路在任意端点和交叉点均可连通。其中城市道路交通仅为表示市区与市区之间到达时所产生的额外时间

费用，因此仅以主要干道连接各个市区节点，简化城市道路交通。

道路交通全天提供连续服务，而轨道交通的特点在于服务时间具有规定的间隔和范围。由于本文的可达性是由出行时间来描述的，并未考虑高峰时期道路交通拥堵费用，而且公共汽车服务频次对城际可达性的影响较小，因此，道路交通的时段性不属于本文的研究内容。根据这个特点，在不同的时间段内，道路交通的服务是相同的，但轨道交通的服务却存在差异。在构造多式交通网络时，不同时段将具有不同的网络结构。分析时段划分方法和网络节点之间的出行费用如下（网络节点包括评价对象、道路岔点和站点）。

2.1 时段划分

划分时段应该遵循 2 个原则：其一是轨道交通中的列车开行密度具有一致性；其二划分时段的数量尽可能少。这样一来，在每一个时段内的不同时间，可达性指标区别不大；另一方面，时段数较少更便于表达。

在上述原则下，我们通常将轨道交通的运营时段按照小时段划分，非运营时段划分为一个单独的时段。

2.2 出行时间费用

2.2.1 轨道交通出行时间费用

根据每个时段内的轨道交通列车运行时刻表，可以获得两个站点 i 和 j 之间的开行列车数 n_{ij} ，若 $n_{ij} > 0$ ，则站点 i 和 j 之间存在一条轨道交通弧段，时间费用

$$T_{ij}^{Rail} = t_{ij} + H/kn_{ij} \quad (2)$$

式中： t_{ij} 为列车在站点 i 至站点 j 的平均旅行时间； H 为时段的长度； $k=2$ 为修正系数。显然， H/kn_{ij} 为平均等待时间。

2.2.2 道路交通出行时间费用

$$T_{ij}^{Road} = S_{ij}/v \quad (3)$$

式中： S_{ij} 为节点 i 到节点 j 的里程； v 为平均旅行速度（一般而言，城市道路的平均旅行速度为 20 km/h，普通公路的平均旅行速度为 50 km/h，高速公路的平均旅行速度为 80 km/h）。

2.3 多式交通网络设计

在每一个时段 τ ，以评价对象、道路岔点和站点为节点，记节点集为 V 。连接两点之间任何一种交通方式对应一条弧段，记弧集为 A_τ 。相应的出行时间费用为该弧段的长度，由此获得这个时段的多式交通网络 (V, A_τ) 。

注意到不同时段的多式交通网络具有不同的网络结构 (V, A_τ) ，在实际处理时比较繁琐。简化表达形式起见，将不同时段多式交通网络的弧集 A_τ 的并为一个弧集 $A = \cup_\tau A_\tau$ ，显然 $A \supset A_\tau$ 。在任意时段 τ ，只要重新定义式 (2) 的弧 $(i, j) \in A$ 费用为：

$$T_{ij}^{Rail} = \begin{cases} \infty & n_{ij} = 0 \\ t_{ij} + H/kn_{ij} & n_{ij} > 0 \end{cases} \quad (4)$$

任意时段 τ 的多式交通网络均可表示为 (V, A) ，每条弧的出行费用由式 (4) 和式 (3) 确定即可。

根据时段 τ 的多式交通网络 (V, A) 及其费用，可以利用 Floyd 最短路算法求解任意两点之间的最短路长，便可获得式 (1) 所需的全部 T_{rs} ，借助于各个经济中心 s 的国民生产总值 M_s 和式 (1)，可计算出评价对象 r 的可达性 A_r 。

3 湖南省分时段多式交通网络设计

以湖南省为例，省内多式交通网络包括高速铁路、普通公路、简化城市道路网络及高速公路网络，根据上述多式网络的构建方法得到湖南省各节点及交通弧段的时间费用，高速铁路选择某工作日列车运行图，其中节点为湖南省 122 个县级行政区域（湖南全省现有 13 个地级市、1 个自治州，其中包含了 16 个县级市、71 个县、35 个市辖区，计 122 个县级行政区域），道路交通出行时间费用的计算如公式 (3)，高速铁路出行时间费用的计算如公式 (4)。以长沙南站及附近高铁站点为例，分析分时段多式交通网络的变化情况。时段划分为早上 7 点至凌晨 24 点，每 1 个小时为一个单独的时段，全天共 17 个时段。

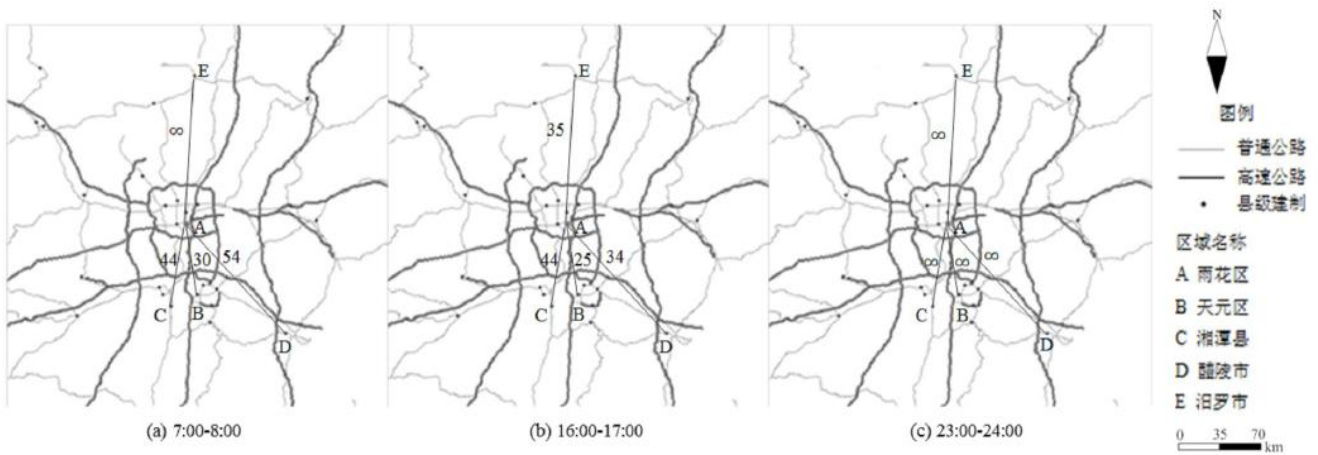


图1 湖南省内分时段多式交通网络

Fig.1 The multimodal transit network of Hunan Province in different periods

结果如图 1 所示，以 7:00~8:00、16:00~17:00、23:00~24:00 三个时段为例，分析长沙南站周边高铁网络弧段费用的变化情况。7:00~8:00 时段从长沙南站有少量列车开行，长沙至汨罗除外，当没有列车开行时，时间费用为正无穷。16:00~17:00 时段为全天的发车高峰时段，此时各站点之间均有较多车辆开行，计算得到的时间费用在全天中呈现出较低的情况。23:00~24:00 时，各站点基本没有列车开行，此时的高速铁路网络的弧段时间费用为正无穷，基本等同于没有高速铁路的道路交通网络构造。

4 湖南省区域分时段可达性分析

由于本文不考虑道路交通的时段性，基于道路网络的节点可达性是通过公路及城市道路网络，并采用加权平均出行时间的方法计算 122 个节点到 13 个经济中心点的全天可达性值，如图 2 所示。从图 2 中可以看出，省内 2.5 h 圈主要涉及长株潭城市

群，可以满足旅客当天通勤往返的区域有限，基本不能达到人们跨区域通勤的目的。

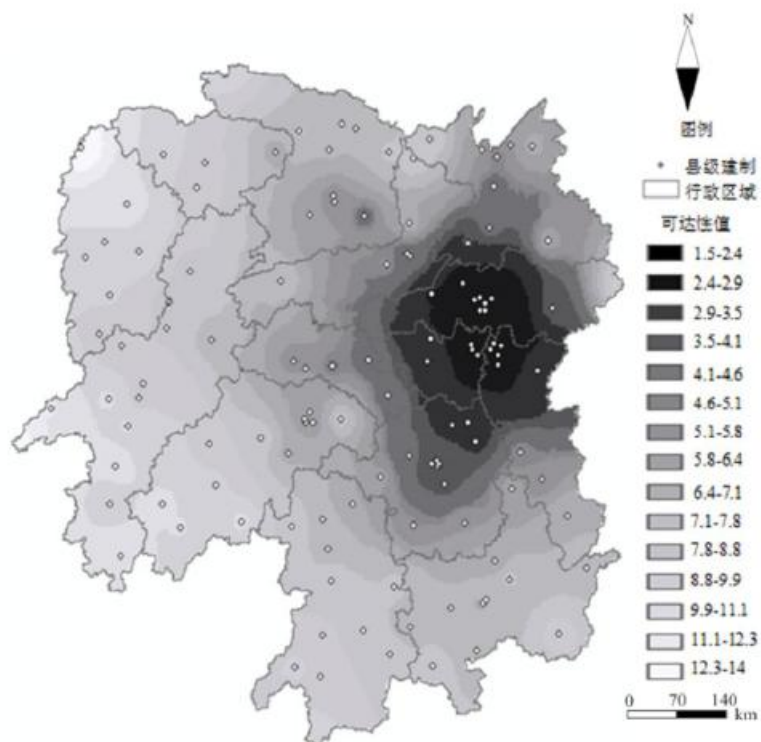


图2 基于公路网络的可达性

Fig.2 The accessibilities based on the highway network

高速铁路的开通，会对区域内各节点的可达性造成影响。由于轨道交通在不同时段具有不同的服务频率，接下来将对湖南省内各单元节点的分时段可达性进行计算，分析高速铁路对区域空间结构的影响。

4.1 湖南省 17 个时段的分时段可达性结果

高铁列车运行图中在湖南省境内的运营时间为 7:00~24:00，因此将全天分成 17 个时段，得到的节点分时段可达性如图 3、图 4。

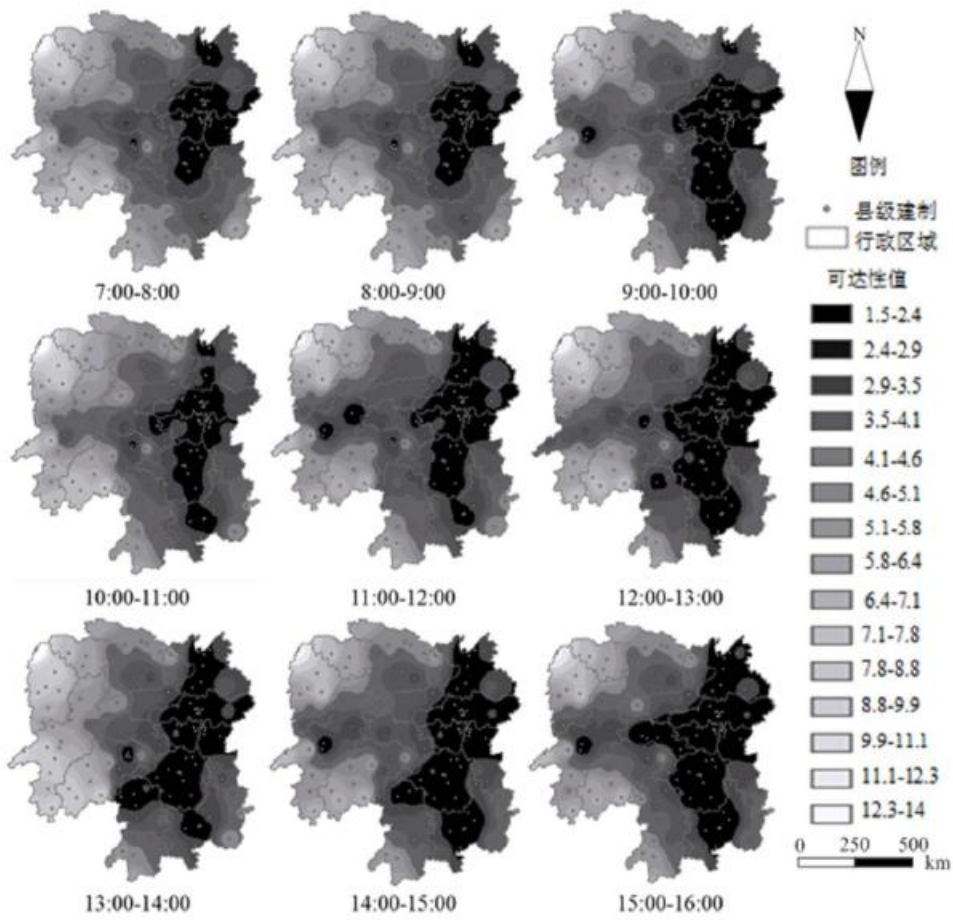


图3 7:00~16:00湖南省内节点的分时段可达性

Fig.3 The accessibilities of the nodes in Hunan Province during the period from 7:00 to 16:00

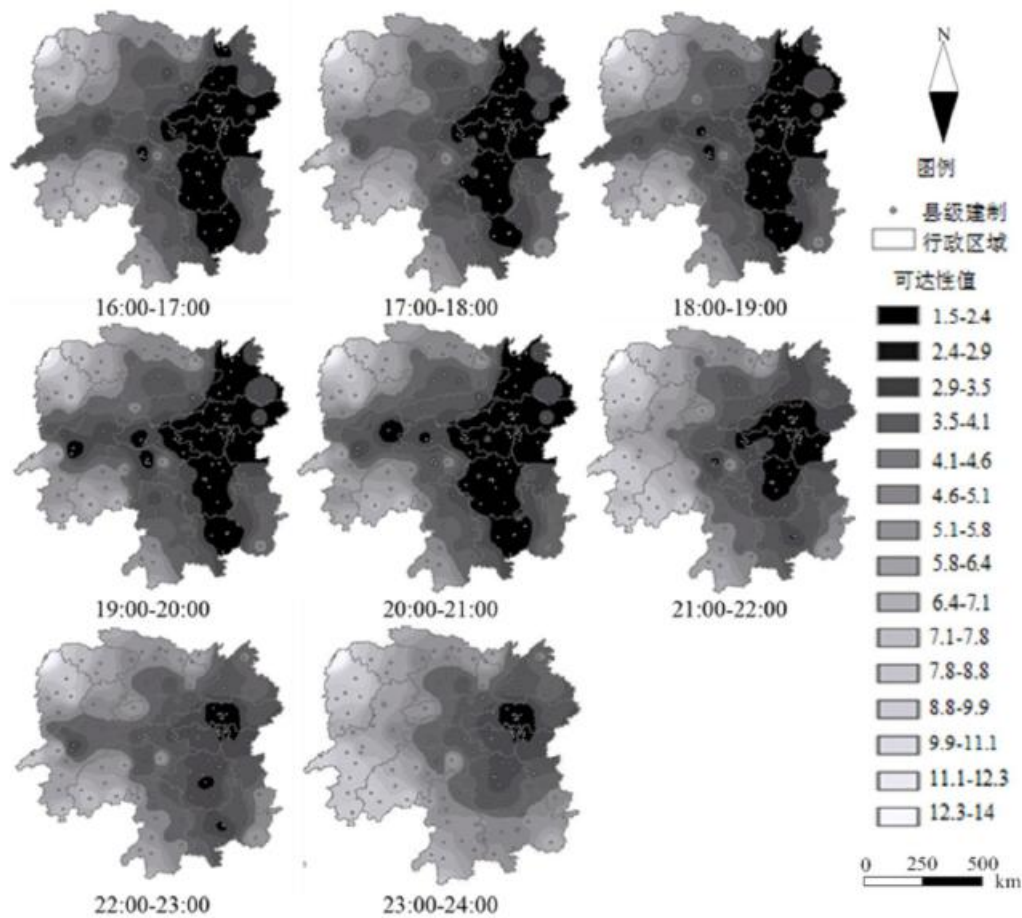


图4 16:00~24:00湖南省内节点分时段可达性

Fig.4 The accessibilities of the nodes in Hunan Province during the period from 16:00 to 24:00

从得到的结果可知，湖南省内 122 个节点在全天呈现出明显可达状态的波动，高铁沿线节点可达性受到的影响最为显著。每个区域的可达性高峰期是随着时间的流逝而不断转移，由于高速铁路运行图是根据计划将全天的不同时段高峰分给不同的站点，而计划的依据主要根据站点所属节点的等级和客流量而制定的。在早高峰阶段（7：00~8：00 时段），大部分站点没有列车开行，不能形成以通勤为目的的出行，高速铁路对区域可达性的影响较差，而岳阳东和长沙南两个站点均有较多列车开行，尤其以长沙南为首，形成了明显的早高峰出行阶段。23：00~24：00 时段湖南省内各高铁站点开行列车数较少，此时虽然有高速铁路网络，但与只有道路交通网络的可达性情况相当。全天最佳出行高峰为 13：00~16：00 时段，其中长株潭地区在全天的可达性都呈现出较好的状态，湘西自治州及张家界地区全天可达性的状态都较差，受到高铁的影响小。其他区域则很大程度上受到了高铁开行方案的影响，在不同时段里呈现出不同的可达性状态。

与基于公路网络的可达性相比，高速铁路开通后全天大部分时段的 2.5 h 圈有所扩大，可以满足多个地区的跨区域通勤需求，并且高铁站点所在的节点可达性变化明显。由于高铁不同时段服务频率的影响，每个时段的可达性改变范围有所不同，但总体上变化趋势是沿着高铁线路网络展开的。对于高铁沿线附近区域，距离中心节点距离越远，可达性的变化就越大；高铁不经过的区域可达性改变较小。

4.2 节点全天最佳出行时段

节点的最佳出行时间是根据湖南省内 122 个节点的分时段可达性得到的，即为各节点加权平均出行时间最短的时段。然后

以各节点的最佳出行时段为 Voronoi 图的属性值，得到湖南省各县级行政建制的空间划分情况，如图 5 所示。

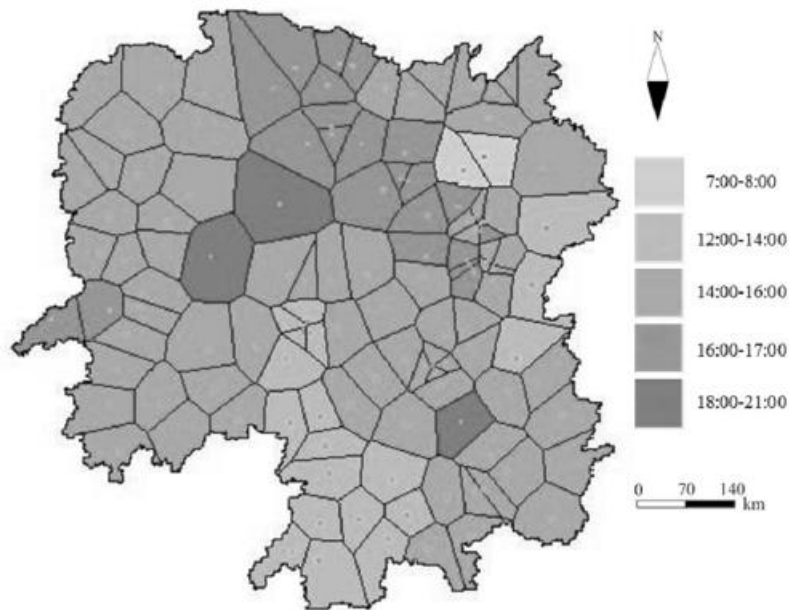


图5 节点最佳出行时段的 Voronoi 图
Fig.5 The Voronoi figure about the best travel periods of the nodes

通过结果可以得出最终得到的湖南省各节点的最佳出行时间主要集中在 8 个时段（7：00~8：00、12：00~13：00、13：00~14：00、14：00~15：00、15：00~16：00、16：00~17：00、18：00~19：00、20：00~21：00），在图中主要分布在五个区间里，其中大部分节点的最佳出行时间集中在 15：00~16：00。湖南省每个区域的最佳出行时段在空间中呈现出明显的分布规律，与空间位置的关联关系密切，空间结构特征明显。也就是说在湖南省目前的综合交通网络中，只有高速铁路网络有着明显的时间特性，列车开行方案的制定影响的范围不仅仅局限于高铁站点附近，而是极大程度上带动了空间上的联动效应，使得周围区域的最佳出行时间特性改变，并且在不同的区域上呈现出不同的规律。而这些时间特性也正是与该区域的城市等级、人口以及经济发展密切相关。

5 结论

一定区域范围内的分时段可达性是评价区域空间结构的新方法，与一般可达性相比，超越了原来对全天可达性的笼统评价，可以对各个时段进行精细化评价。这种评价方法还可根据重要时段可达性评价结果对列车运行图提出要求。

本文通过计算湖南省内 122 个节点的分时段可达性，发现全天运营时段内的区域可达性变化呈现出明显的波动状态，京广高铁线路上各站点所在区域受到的影响最为显著，全天出行的最高峰集中在下午时段。与基于公路网络的可达性相比，高速铁路开通后省内可达性变化趋势是沿着高铁线路网络展开的，可以满足多个地区的跨区域通勤需求。

根据各节点的分时段可达性值，得到湖南省 122 个节点的最佳出行时段 Voronoi 图以及最佳出行时段的空间划分。从中可以看出，最佳出行时段在空间中呈现出聚类的状态，高铁对区域可达性的影响具有联动效应。

参考文献:

- [1] 陈博文, 陆玉麒, 吴常艳. 交通可达性与经济活动的空间分布关系——以江苏省为例 [J]. 经济地理, 2016, 36(1): 61 - 68.
- [2] Hansen W G. How accessibility shapes land use [J]. Journal of the American Institute of Planners, 1959, 25: 73 - 76.
- [3] Gutiérrez J. Location, economic potential and daily accessibility: an analysis of the accessibility impact of the high-speed line Madrid-Barcelona-French border [J]. Journal of Transport Geography, 2001, 9(4): 229 - 242.
- [4] Li S M, Shum Y M. Impacts of the national trunk highway system on accessibility in china [J]. Journal of Transport Geography, 2001, 9(1): 39 - 48.
- [5] 张兵, 金凤君, 于良. 湖南公路网络演变的可达性评价 [J]. 经济地理, 2006, 26(5): 776 - 779.
- [6] 金凤君, 王姣娥. 20 世纪中国铁路网扩展及其空间通达性 [J]. 地理学报, 2004, 59(2): 293 - 302.
- [7] 蒋海兵, 徐建刚, 祁毅. 京沪高铁对区域中心城市陆路可达性影响 [J]. 地理学报, 2010, 65(10): 1287 - 1297.
- [8] 刘辉, 申玉铭, 孟丹, 等. 基于交通可达性的京津冀城市网络集中性及空间结构研究 [J]. 经济地理, 2013, 33(8): 37 - 45.
- [9] 姜博, 初楠臣, 王媛, 等. 高速铁路影响下的城市可达性测度及其空间格局模拟分析——以哈大高铁为例 [J]. 经济地理, 2014, 34(11): 58 - 62.
- [10] 冯长春, 丰学兵, 刘思君. 高速铁路对中国省际可达性的影响 [J]. 地理科学进展, 2013, 32(8): 1187 - 1194.
- [11] 蒋海兵, 张文忠, 祁毅, 等. 高速铁路与成行成本影响下的全国陆路可达性分析 [J]. 地理研究, 2015, 34(6): 1015 - 1028.