

基于 GIS 空间分析的轨道线网评价

Evaluation for Transit Network Base on GIS Spatial Analyze

丁伟

Wei Ding

中国铁路设计集团有限公司 中国·天津 300000

China Railway Design Group Co., Ltd., Tianjin, 300000, China

摘要: 目的: 以往轨道线路评价方法有线网长度、中心区线网密度、非直线系数、覆盖面积率等指标, 对轨道线网方案进行结构特征评价, 缺乏空间分析。方法: 采用 GIS 空间分析方法, 对中国天津市轨道线网的服务水平进行评价, 通过轨道线网缓冲区面积占比和人均缓冲区面积指标年际变化, 完善了轨道线网评价体系。结论: ① 2012 年, 河北区线网缓冲区占比 17.40%, 其余各区均在 25% 以上; ② 2018 年, 除红桥区 and 河东区缓冲区占比在 33% 左右; ③ 2024 年, 红桥区 and 河东区缓冲区占比在 43% 左右; ④ 2018 年, 轨道线网缓冲区占街道面积比例大都在 70% 以上; ⑤ 2024 年轨道线网缓冲区占街道面积比例在 90% 之间的有三条石街、南营门街和南市街。

Abstract: Objective: In the past, the evaluation methods of track network include: line network length, central area line network density, non-linear coefficient, coverage rate and other indicators, there is no spatial analysis to evaluate the structure characteristics of track network scheme. **Method:** the GIS spatial analysis method is used to evaluate the service level of Tianjin, China track network, the evaluation system of track network is improved by the annual change of buffer area ratio and per capita buffer area index of track network. **Conclusions:** ① The network buffer of lines accounted for 17.40% in Hebei in 2012. ② Except for the Hongqiao District and Hedong District, the ratio is about 33% in 2018. ③ The buffer zone of Hongqiao District and Hedong District accounted for about 43% in 2024. ④ The transit network buffer zone accounts for more than 70% in 2018. ⑤ Transit network buffer accounted for 90% of the street area in 2024, they are Santiaoshi Street, Nanyingmen Street and Nanshi Street.

关键词: 轨道线网; GIS 空间分析; 服务水平

Keywords: transit network; GIS spatial analysis; service level

DOI: 10.12346/etr.v5i2.7730

1 引言

轨道交通线网规划是一个复杂的系统设计过程, 其应该兼顾城市总体规划、轨道交通规划、地形和地质情况、拆迁和文物保护情况、客流特征等, 综合性强, 涉及范围广, 在规划设计中应兼顾到各个方面, 寻求最佳的解决方案。

贺鹏通过对比北京和上海在城市规划建设、交通运营状况等方面的指标, 结合各自在线网形态、线网密度、线网与路网等方面的特点, 提出对中国后续其他城市开展线网规划的建议^[1]。马超群针对中国城市轨道交通线网规划过程中, 线网方案评价标准不一的情况, 建立了城市轨道交通线网方

案评价指标体系。引入灰色关联度, 建立了基于灰色加权关联度的城市轨道交通线网方案综合评价方法^[2]。林树森从中国广州市城市轨道交通线网规划近 40 多年的演变过程, 论述了城市轨道交通规划对城市规划的巨大作用。“线跟人走”“人跟线走”两种不同线路功能出发, 论述了市中心区与待开发新区如何通过城市轨道交通规划来引导其发展^[3]。王婉莹从城市道路网与轨道交通线网形态的关系, 指出天津道路网在内环附近、十四条射线的贯通比例太低, 缺乏径向线的布设路由, 应将通过内环的径向线路的调查研究作为重点^[4]。张凯提出的基于 APH 赋权法和熵权赋权法的评价

【作者简介】丁伟 (1988-), 男, 中国河南新郑人, 本科, 工程师, 从事交通运输组织研究。

指标权重计算方法,既考虑相关专家丰富的主观经验,又遵循了指标本身所蕴涵的客观信息^[5]。张云娇通过分析交通症结以及研究旅游与城市通勤客流相结合的城市人口出行特征,剖析城市轨道交通层次划分,提出中国玉溪市城市旅游轨道交通线网规划^[6]。

论文基于前人的研究基础,提出轨道线网的GIS空间分析方法,从轨道线网缓冲区面积占比和人均缓冲区面积指标两个方面来评价天津市轨道线网初期、中期和末期三个时间段的服务水平。

2 研究概况

2.1 区位概况

中国天津市地处太平洋西岸环渤海湾边,现有15个市辖区及1个县。本次的行政尺度研究范围为天津市内六区和周边四区。街道尺度研究范围为市内六区的东海街、梅江街、柳林街、友谊路街等63个街道。

2.2 数据来源

《天津市城市总体规划(2005—2020年)》和《天津市城市轨道交通第二期建设规划(2015—2020年)》中获取轨道线路建设时序和站点概况^[7]。2011年至2016年期间《天津统计年鉴》获取行政区面积和人口增长率指标^[8]。根据《天津统计年鉴》中的0.25%人口增长率指标估算2018年和2024年各区和各街道人口。

2.3 研究方法

常用的轨道线网评价方法有线网长度、中心区线网密度、非直线系数、覆盖面积率等指标,对轨道线网方案进行结构特征评价^[9]。以上分析方法,在一定程度上定量分析了线网覆盖面积和服务水平,但未考虑行政区和街道两个尺度下的人均占有轨道线网指标,不能反映市民乘坐轨道线网的公平性。

论文采用GIS空间分析技术,通过缓冲区分析和叠置分析2012年、2018年和2024年三个时间点的轨道线网服务水平。2012年现有地铁1号线、2号线、3号线和9号线;2018年新建成5号线和6号线;2024年计划建成7号线、8号线、10号线和11号线。

缓冲区分析:一般地铁车站服务半径为500m,车站出入口按40m计算,规范规定站台的疏散距离小于50m,以40m计算。因此,以车站中心为圆心,以580m半径建立缓冲区。

叠置分析:将2012年、2018年和2024年三个时间点的轨道线网缓冲区与十个行政区和63个街道的面积和人口数量进行叠置分析,得到行政区和街道两个尺度下轨道线网缓冲区的面积比和人均占比。

轨道线网缓冲区面积占行政区面积比例可以反映轨道线网在各区的建设水平和覆盖情况,从空间上反映城市轨道交

通的服务水平。

人均缓冲区面积指标可以反映市民使用轨道交通的便捷程度,一定程度上体现了轨道交通服务的公平性。

2.4 分析过程

2.4.1 各阶段轨道线网简介

①2012年轨道线网:天津地铁1号线,沿西北至东南辐射,连接北辰区刘园站和津南区双林站。天津地铁2号线,是中国天津市快速轨道交通网中的东西骨干线,是天津轨道交通的重要组成部分。线路西起西青区曹庄,沿卫国道向东,东至东丽区天津滨海国际机场。天津地铁3号线,是中国天津市快速轨道交通网中的南北骨干线。天津地铁9号线又名津滨轻轨,始自天津站,向东南敷设,至滨海新区东海路。

②2018年新增轨道线网:天津地铁5号线,是中国天津市快速轨道交通网中的南北线,北起北辰区北辰科技园北,南至西青区李七庄南^[10]。天津地铁6号线是中国天津市快速轨道交通网中的南北线,东起东丽区大毕庄车辆段,南至津南区南马集停车场。

③2024年新增轨道线网:天津地铁4号线,规划北起北辰区双街,东至东丽区中国民航大学。天津地铁7号线,是中国天津市快速轨道交通网中的南北主干线。天津地铁8号线,西起南开区绿水园资阳路站,南至津南区咸水沽站的中心城区南部骨干线路。天津地铁10号线,是城区西南至东北方向的轨道交通骨干线,南起西青区梨园头,最终进入北部新城地区。天津地铁11号线为中心城区东西向骨干线,西起南开区复康路与水上公园西路交口的水上公园站,东至东丽区津塘二线与六经路交口的六经路站。

2.4.2 行政区尺度

①2012年轨道线网:在ARCMAP软件中,以车站站点shp文件为圆心,580m为半径建立缓冲区,并与和平区、红桥区等十个行政区进行叠置分析(见图1)。地铁缓冲区面积由大到小的行政区分别为西青区(13.02km²)、北辰区(12.97km²)、河东区(11.95km²)、津南区(10.58km²)、河西区(10.12km²)、东丽区(9.74km²)、南开区(9.65km²)、和平区(6.15km²)、红桥区(5.28km²)、河北区(4.87km²)。

②2018年轨道线网:以各车站站点shp文件为圆心,580m为半径建立缓冲区,并与和平区、红桥区等十个行政区进行叠置分析(见图2)。地铁缓冲区面积由大到小的行政区分别为西青区(22.76km²)、北辰区(21.18km²)、南开区(16.95km²)、河西区(16.52km²)、东丽区(15.28km²)、津南区(13.28km²)、河东区(13.01km²)、河北区(12.51km²)、红桥区(7.09km²)、和平区(6.15km²)。

③2024年轨道线网:以各车站站点shp文件为圆心,580m为半径建立缓冲区,并与和平区、红桥区等十个行政区进行叠置分析(见图3)。地铁缓冲区面积由大到小的行政区分别为北辰区(55.37km²)、西青区(53.02km²)、河

西区(29.29km²)、南开区(26.81km²)、东丽区(24.72km²)、津南区(24.03km²)、河北区(17.51km²)、河东区(16.51km²)、红桥区(9.31km²)、和平区(7.26km²)。

冲区均与和平区相交,历年缓冲区占比均在63.86%以上,2024年占比最高,为75.39%。2012年至2024年缓冲区占比增长较快,由25.70%增长到74.38%。南开区由24.95%至69.31%。河东区和红桥区以每年约10%的增速稳步增长。2012年缓冲区占比最小的河北区增长45.16%,在市内六区中增速最快。

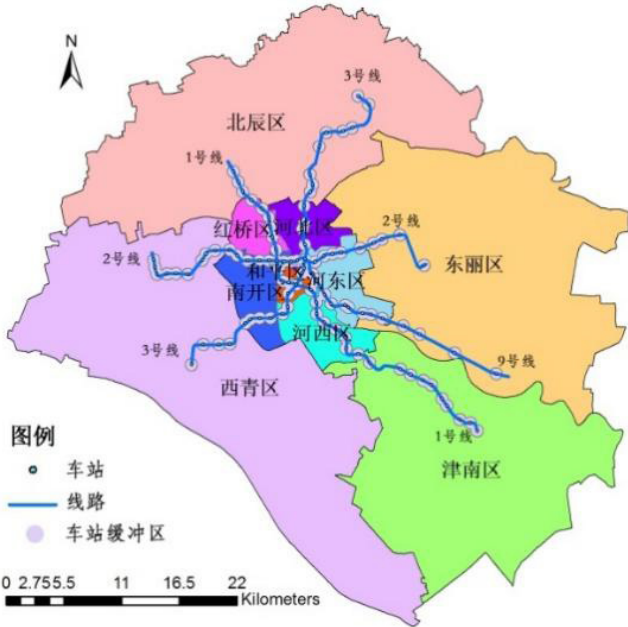


图1 2012年轨道线网缓冲区分析图

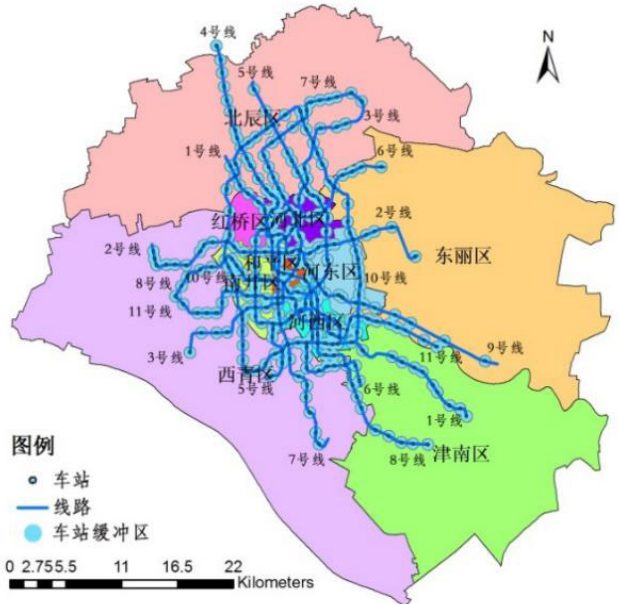


图3 2024年轨道线网缓冲区分析图

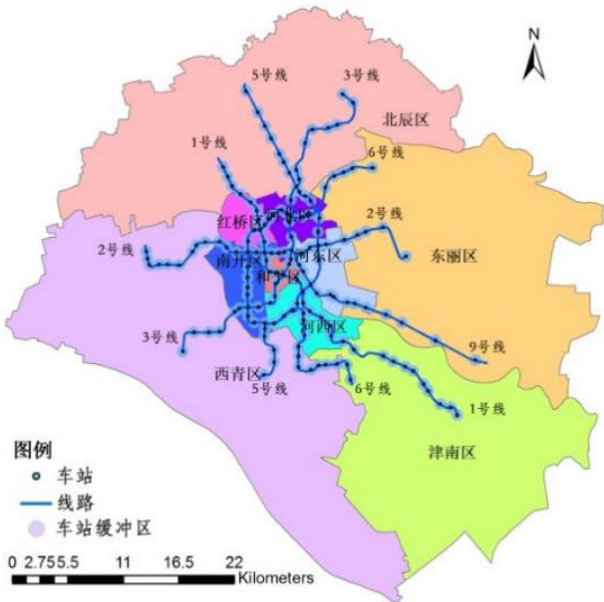


图2 2018年轨道线网缓冲区分析图

外部四区轨道线网缓冲区面积占比例较市内六区小很多。轨道线网2012年覆盖约为2%,2024年分别增长至6.23%、5.18%、11.56%和9.48%。

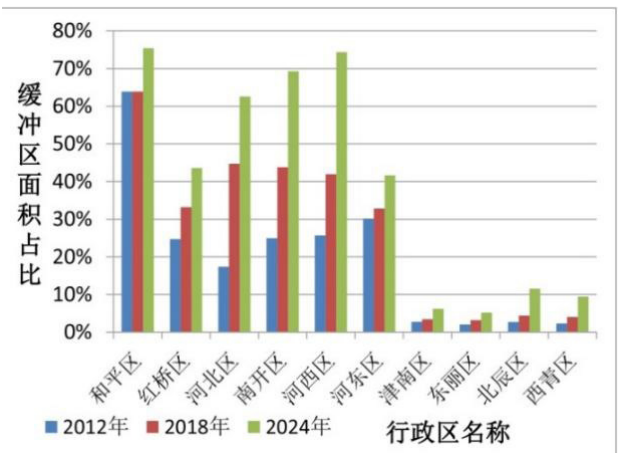


图4 线网缓冲区面积占比年际变化图

2.4.3 年际变化

①线网缓冲区面积占行政区面积比例分析:将历年轨道线网缓冲区面积分别除以十个行政区面积得到轨道线网缓冲区面积占比年际变化图(见图4)。2012年各线路缓

②人均缓冲区面积指标分析:将历年轨道线网缓冲区面积分别除以十个行政区人口数据得到轨道线网人均缓冲区面积年际变化图(见图5)。市内六区人均缓冲区面积在0.08m²~0.17m²,四个郊区人均缓冲区面积在0.25m²~0.35m²。

2018 年市内六区和四个郊区的人均缓冲区面积有较大差别，市内六区人均缓冲区面积在 $0.14\text{m}^2\sim 0.21\text{m}^2$ ，四个郊区人均缓冲区面积在 $0.32\text{m}^2\sim 0.61\text{m}^2$ 。2024 年市内六区人均缓冲区面积在 $0.18\text{m}^2\sim 0.37\text{m}^2$ ，四个郊区人均缓冲区面积在 $0.57\text{m}^2\sim 1.47\text{m}^2$ 。

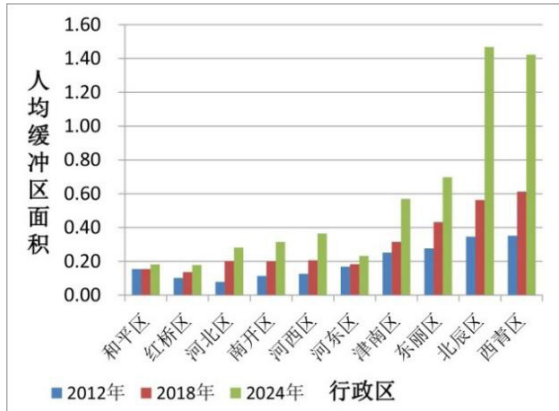


图 5 人均缓冲区面积年际变化图

由图 5 可见，市内六区的人均缓冲区面积年际变化不大，12 年间变化量最大的河西区，为 0.24m^2 ，变化量较大的河北区和南开区，均在 0.2m^2 ，其余各区变化量均在 0.1m^2 以内。郊区四区人均缓冲区面积年际变化较大，12 年间变化量最大的北辰区，为 1.12m^2 ，变化量较大的西青区，为 1.07m^2 。津南区变化量为 0.32m^2 ，东丽区变化量为 0.42m^2 。

2.4.4 街道尺度

在进行街道尺度分析时，仅针对市内六区在 2018 年和 2024 年两期（见图 6 和图 7）。2018 年轨道线网缓冲区面积在 3km^2 以上有八里台街、体育中心街；缓冲区面积在 $1\sim 2\text{km}^2$ 的有新开河街、二号桥街等 24 个街道；缓冲区面积在 1m^2 以下的有劝业场街、南市街等 27 个街道；柳林街和嘉陵道街没有轨道线网覆盖。2024 年轨道线网缓冲区面积在 4km^2 以上有尖山街和陈塘庄街；轨道线网缓冲区面积在 3km^2 以上有嘉陵道街和学府街；缓冲区面积在 $2\sim 3\text{km}^2$ 的有王顶堤街等 13 个街道；缓冲区面积在 $1\sim 2\text{km}^2$ 的有友谊路街等 26 个街道；缓冲区面积在 1m^2 以下的有梅江街、新兴街等 16 个街道。

2018 年轨道线网缓冲区占街道面积比例在 70% 以上的有大营门街和光复街；轨道线网缓冲区占街道面积比例在 60%~70% 的有丁字沽街等 9 个街道；轨道线网缓冲区占街道面积比例不足 10% 的有西于庄街和上杭路街；没有轨道线网覆盖的是嘉陵道街和柳林街两个街道。

2024 年轨道线网缓冲区占街道面积比例在 90% 之间的有三条石街、南营门街和南市街；轨道线网缓冲区占街道面积比例在 80%~90% 的有越秀路街和东海路街；轨道线网缓冲区占街道面积比例在 70%~80% 的有尖山街等 13 个街道；轨道线网缓冲区占街道面积比例在 60%~70% 的有柳林街等 15 个街道；轨道线网缓冲区占街道面积比例不足 10% 的仅有上杭路街和王串场街两个街道（见图 8，图 9）。



图 6 2018年街道尺度缓冲区分布图



图 7 2024年街道尺度缓冲区分布图

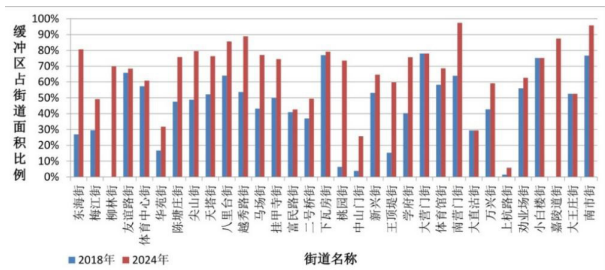


图 8 各街道线网缓冲区面积占比统计图（一）

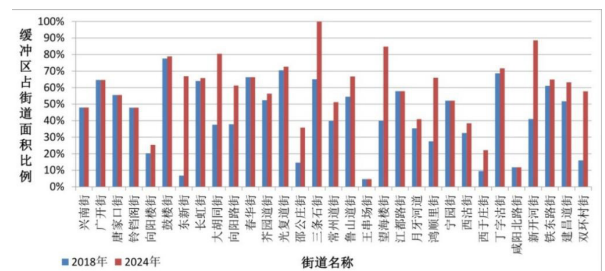


图 9 各街道线网缓冲区面积占比统计图（二）

2.4.5 线网功能定位

轨道线网除满足本行政区和街道市民的通勤需求外,还承担着市区与郊区的居住区和工业区之间人流交换的功能(见图10)。《天津市城市轨道交通第二期建设规划》中规划的线路实施完毕后,青双组团、空港组团和葛沽组团仍需要更多的轨道线路与市区连接起来,方便以上组团与市区的有效沟通。

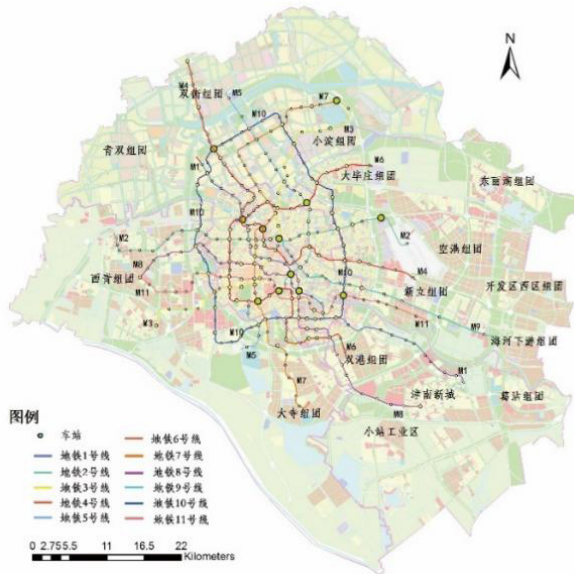


图 10 2024 年轨道线网图

3 讨论

轨道线网缓冲区面积占行政区比例在一定程度上反映了轨道线网的密集程度和覆盖情况,但未考虑道路、河流、湖泊等地形因素和居住区或工业区等客流密集程度的不同,在一定程度上体现服务的公平性。由于城市规划分区不同,各行政区和街道的人口密度不同,因此人均轨道线网缓冲区面积指标考虑了市民在空间上的分布情况,可以在一定程度上反映市民享有轨道交通的公平性。由于轨道交通建设成本大(以百亿计),地面情况复杂、拆迁难度大,因此不能仅考虑公平性,建成后的客流饱满度同样是重要的考虑因素。

4 结论

通过 GIS 空间分析,发现线网初期结构合理,适合中国天津市城市形态和道路结构形态,最大限度发挥线网的通勤能力。线网中期 5 号线和 6 号线有效地加强了已有线网的换乘,极大地缩短了相邻行政区的通行时间。线网末期 5 条线的建成,一方面加强了环线的建设,增加了换乘车站,使线网更加紧密;另一方面加强了线网的覆盖能力,使市区和郊区联系更加紧密。采用轨道线网缓冲区和叠置分析后,进一步得到如下结论:

①市内六区中,2012 年建成的 1 号线、2 号线、3 号线

和 9 号线,河北区线网缓冲区占比 17.40%,其余各区均在 25% 以上,尤其和平区占比最大,为 63.86%。2018 年 5 号线和 6 号线建成的线网中期,除红桥区 and 河东区缓冲区占比在 33% 左右,其余各区占比均在 40% 以上。2024 年建成后的线网末期,红桥区和河东区缓冲区占比在 43% 左右,其余各区均在 62% 以上,尤其和平区最高,达到 75.39%。

②郊区四区中,2012 年线网初期,缓冲区占比均在 2% 左右;2018 年线网中期,缓冲区占比均在 3%~4%;2024 年线网末期,缓冲区占比均在 5% 以上,北辰区最高,达到 11.56%。

③ 2018 年轨道线网缓冲区占街道面积比例在 70% 以上的有大营门街、鼓楼街和光复街;轨道线网缓冲区占街道面积比例在 60%~70% 的有丁字沽街、春华街、友谊路街等 9 个街道;轨道线网缓冲区占街道面积比例不足 10% 的有西于庄街和上杭路街;没有轨道线网覆盖的是嘉陵道街和柳林街两个街道。建议在下一期线网建设中应加强嘉陵道街和柳林街等街道的轨道线路建设。

④ 2024 年轨道线网缓冲区占街道面积比例在 90% 之间的有三条石街、南营门街和南市街;轨道线网缓冲区占街道面积比例在 80%~90% 之间的有越秀路街、望海楼街、大胡同街和东海路街;轨道线网缓冲区占街道面积比例在 70%~80% 的有尖山街等 13 个街道;轨道线网缓冲区占街道面积比例在 60%~70% 的有柳林街和友谊路街等 15 个街道;轨道线网缓冲区占街道面积比例不足 10% 的仅有上杭路街和王串场街两个街道。建议在下一期线网建设中应加强上杭路街和王串场街等街道的轨道线路建设。

参考文献

- [1] 贺鹏,吴尚泽.北京与上海城市轨道交通线网服务对比[J].都市轨道交通,2016,29(1):8-13.
- [2] 马超群,王玉萍,陈宽民,等.基于灰色加权关联度的城市轨道交通线网方案评价[J].长安大学学报(自然科学版),2007,27(3):84-87.
- [3] 林树森.广州城市轨道交通线网规划的演变及其对城市发展的影响[J].城市轨道交通研究,2010,13(8):1-12.
- [4] 王婉莹.城市道路网与轨道交通线网形态的关系研究[J].铁道工程学报,2017(2):83-88.
- [5] 张凯,秦斌斌,刘用渗,等.城市轨道交通线网评价研究[J].铁道工程学报,2014,31(3):97-101.
- [6] 张云娇.玉溪市旅游轨道交通线网规划研究[J].铁道工程学报,2019(5).
- [7] 天津市规划局.天津市城市总体规划(2005~2020年)[M].天津:科学技术出版社,2006.
- [8] 天津市统计局.2014天津市统计年鉴[G].天津:中国统计出版社,2014.
- [9] 过秀成,吕慎,谢实海,等.城市轨道线网规划评价决策方法研究[J].城市轨道交通研究,2000,3(4):24-27.
- [10] 周欣荣,崔扬,袁文凯.天津中心城区地铁5号线、6号线线路功能分析研究[J].城市,2013(5):58-61.