

# 基于多因素分析的东莞市城市轨道交通线路建设时序方案研究

卢健波<sup>1\*</sup>, 王 维<sup>2</sup>, 成见开<sup>1</sup>

<sup>1</sup>东莞市地理信息与规划编制研究中心, 广东 东莞

<sup>2</sup>东莞市交通投资集团有限公司, 广东 东莞

收稿日期: 2024年11月5日; 录用日期: 2025年1月8日; 发布日期: 2025年1月20日

## 摘 要

城市轨道交通建设是一项长期、庞大的系统工程, 同时也是巨大的投资工程, 在有限的财政资源下, 优先安排最优的轨道交通线路, 能够有效支撑城市的发展。本文探索在建设规模受限下, 轨道建设时序的最优解。从城市经济承受能力、交通需求、施工进度等三方面分析未来10~15年东莞可承担的轨道交通建设规模; 通过采用AHP层次分析法和熵权法确定轨道交通建设时序的影响指标权重, 通过构建时序影响指标的决策矩阵, 分析确定多条轨道线路的建设时序优先度, 提出轨道交通第三期建设规划、第四期建设规划的线路, 为政府部门决策东莞市轨道交通时序提供参考依据。

## 关键词

轨道交通, 经济承受能力, 建设时序, 决策矩阵

## Study on the Construction Sequencing Plan of Urban Rail Transit in Dongguan Based on Multi-Factor Analysis

Jianbo Lu<sup>1\*</sup>, Wei Wang<sup>2</sup>, Jiankai Cheng<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Dongguan Geographic Information & Urban Planning Research Center, Dongguan Guangdong

<sup>2</sup>Dongguan Communications Investment Group Co., Ltd., Dongguan Guangdong

Received: Nov. 5<sup>th</sup>, 2024; accepted: Jan. 8<sup>th</sup>, 2025; published: Jan. 20<sup>th</sup>, 2025

\*第一作者。

文章引用: 卢健波, 王维, 成见开. 基于多因素分析的东莞市城市轨道交通线路建设时序方案研究[J]. 交通技术, 2025, 14(1): 59-70. DOI: 10.12677/ojtt.2025.141008

## Abstract

The urban rail transit not only is a long-term and great system engineering, but also is the great investment project. Prioritizing the optimal rail transit routes within limited financial resources can effectively support the development of the city. This article explores the optimal solution for the timing of rail construction under limited construction scale, and analyzes the scale of rail transit construction that Dongguan can undertake in the next 10~15 years from three aspects: urban economic capacity, transportation demand, and construction progress. By using the AHP and entropy weight method to determine the weight of the influencing indicators for the construction sequence of urban rail transit, and by constructing the decision matrix for the influencing indicators of the construction sequence, the priority degree of the construction sequence of multiple rail lines is analyzed and determined. Proposals are made for the third phase and fourth phase of the urban rail transit construction plan in Dongguan, providing reference basis for the government's decision-making on the construction sequence of urban rail transit in Dongguan.

## Keywords

Rail Transit, Economic Capacity, Construction Sequence, Decision Matrix

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

目前,国内外针对轨道交通线网建设时序的理论研究较少,往往在整个线网布局研究中简略地论述,一些文献虽然提出了定性分析或是定量计算的方法,但由于主观因素太大或是定量参数不容易获取等原因,使得这些方法的应用性不强。成华[1]等利用交通需求法和建设资金控制法确定轨道规模,提出以最大综合效益为目标的近期建设线路安排优化模型。陈群[2]等分析城市轨道交通的效应和线网分级,以项目全寿命周期费用、平均建设费用曲线和待建线路的预期收益为依据,在定量计算和定性分析的基础上得出了轨道交通线路的建设时序。以上研究成果推动了轨道交通建设时序研究的发展,但这些研究仅是以资金、寿命或效益等单因素为目标考虑轨道交通建设时序,并未从影响轨道交通建设时序的多因素全面统筹考虑建设时序问题。董新婉[3]等、黄睿[4]等、陈元朵[5]等通过计算得到每条线路每段的线路重要度后,可以将各线路段按照线路重要度降序排列;张嘉敏[6]、张凯[7]等、郭延永[8]等通过构建主客观权重法,确立轨道交通建设时序,对指导轨道建设时序均有一定的借鉴意义。

在国办发〔2018〕52号文出台后,国家提高了各城市建设轨道交通的资金门槛,财政资金对轨道交通建设的影响比以往更大,因此需结合新的政策背景,从多因素角度全面统筹考虑轨道交通的建设规模和建设时序问题。本文综合影响轨道交通建设时序的多种因素,以城市的经济承受能力(含经济能力匹配度、财政承受能力)、总客流需求、轨道工程实施进度限制为出发点,控制城市轨道交通的建设规模阈值,以线路与城市空间协同度、客流效益、线路沿线的土地开发效益及人口岗位规模等因素综合确定轨道线路的优先度,最终确定轨道建设时序,研究思路见图1。



Figure 1. Research idea of construction sequencing plan of urban rail transit  
图 1. 轨道交通建设时序研究思路图

## 2. 轨道交通建设规模确定

### 2.1. 轨道交通建设规模测算模型

#### 2.1.1. 经济承受能力分析法

##### (1) 经济能力匹配法

根据国内轨道城市的发展经验，当年的轨道交通建设投资资金占 GDP 的比重一般在一个合理区间，参考国内其他城市经济指标，确定城市轨道的建设规模。

$$L_G = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{A_i}{g_i}}{n} \sum G_j$$

式中： $L_G$ ：基于地区生产总值 GDP 计算的轨道近期规模；

$A_i$ ：参考城市  $i$  近年来的轨道建设规模；

$g_i$ ：参考城市  $i$  近年来的 GDP 规模；

$G_j$ ：拟计算的城市在轨道规划期内第  $j$  年的 GDP 规模。

##### (2) 财政承受能力计算

根据《关于加强城市轨道交通规划建设管理的通知》和《关于进一步加强城市轨道交通规划建设管理的意见》，项目总投资中财政资金投入不得低于 40%，政府资本金占当年城市公共财政预算收入的比例一般不超过 5%，结合上述财政限制要求，财政承受能力计算公式为：

$$L_f = \frac{(F + f) * \theta}{\mu}$$

式中： $L_f$  为近期建设轨道线网规模(km)；

$F$  为一般公共预算收入(亿元)；

$f$  为轨道交通发展专项资金(亿元)；

$\theta$  为政府资本金占城市公共财政预算收入的比例(%)；

$\mu$  为项目总投资中财政资金投入比例(%)。

#### 2.1.2. 交通需求分析

近期建设的合理规模按照城市未来的规划人口、城市相关规划确定的轨道交通合理分担比率及相应的客运量，考虑线网的合理负荷强度，确定轨道交通的建设规模。

$$L_T = \frac{P\eta\alpha\beta\delta}{\gamma}$$

式中： $L_T$  为近期建设线网规模(km)；

- $P$  为城市规划人口数量(万人);
- $\eta$  为机动化交通出行率;
- $\alpha$  为公交的机动化分担率(%);
- $\beta$  为轨道交通出行占公交出行的比例(%);
- $\delta$  为轨道交通换乘系数;
- $\gamma$  为轨道交通线路负荷强度。

### 2.1.3. 轨道工程实施进度控制法

基于城市的环境、工程地质条件、征地拆迁情况等，每个城市在轨道规划建设期内均有相应的轨道建设规模安排。根据建设实施安排，可匡算近期建设轨道的规模。

$$L_c = \sum_i^n l_i$$

式中： $L_c$ ：基于轨道工程实施进度计算的轨道建设规模；

$l_i$ ：规划期内第  $i$  年轨道建设实施进度里程；

$n$ ：规划期期限。

### 2.1.4. 综合研判法

通过上述四种方法，从城市经济发展、财政收入、交通需求、工程施工速度等方面，综合研判合理的轨道交通建设规模。

$$L = \min(L_G, L_f, L_T, L_c)$$

## 2.2. 测算结果

### 2.2.1. 经济承受能力分析

#### (1) 经济能力匹配分析

国内一般城市轨道交通总投资占城市 GDP 的比例一般在 0.5%~1.5%，按照高中低三个情景，预测可承受的城市轨道交通总规模。最终以中间值(情景 2)取 2027~2032 年(第三期建设规划)为 117~133 km，2033~2038 年(第四期建设规划)为 145~166 km，计算过程见表 1。

**Table 1.** Rail transit construction scope based on analysis of the economic capacity

**表 1.** 按经济能力分析轨道建设规模

年份	预测 GDP (亿元)	用于轨道交通的投资		
		情景 1: 占 GDP 0.5%	情景 2: 占 GDP 1%	情景 3: 占 GDP 1.5%
2027~2032	14069~17143	467 亿元(58~67 km)	934 亿元(117~133 km)	1401 亿元、(175~200 km)
2033~2038	17834~20481	580 亿元(73~83 km)	1159 亿元(145~166 km)	1739 亿元、(217~248 km)

#### (2) 财政承受能力分析

根据《2023 年东莞市国民经济和社会发展统计公报》2023 年东莞市 GDP 为 11438.13 亿元，全年市一般公共预算收入 804.84 亿元，根据《东莞市国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》，2025 年东莞市 GDP 为 13000 亿元，2035 年 GDP19300 亿元，通过国民经济弹性系数法计算未来一般公共预算收入，计算过程见表 2。

**Table 2.** Computing result based on the analysis of public finance budget  
**表 2.** 公共财政预算收入测算结果

指标	2024~2026	2027~2032	2033~2038
GDP 年度增长率	5%	4.03%	2.81%
一般公共预算年度增长率	6%	4.55%	3.17%
一般公共预算(亿元)	/	1030~1287	1328~1552

按照每一期的公共财政预算收入,结合国家对财政资本金投入比例等要求,计算东莞市每一期(6年)可承受的轨道线网规模。根据测算结果,2027~2032 可建设 81~92 km,2033~2038 可建设 135~154 km,计算过程见表 3。

**Table 3.** Affordable construction scope in every construction period  
**表 3.** 每一期可承受的轨道线网规模测算结果

序号	指标	2027~2032 (三期)	2033~2038 (四期)
(一)	城市公共财政预算收入(亿元)	6929	8627
(二)	可承受资本金数额(亿元)	346	431
(三)	可承受的轨道建设总投资额(亿元)	866	1078
(四)	可承受轨道线网规模(km)	108~124	135~154
(五)	二期建规剩余投资	222	0
(六)	剩余可承受的总投资额(亿元)	644	1078
(七)	剩余可承受的轨道规模(km)	81~92	135~154

### (3) 经济承受能力综合分析

综合经济能力匹配性、财政承受能力,从经济承受能力的角度 2027~2032 年(第三期建设规划)为 81~92 km,2033~2038 年(第四期建设规划)为 135~154 km。

#### 2.2.2. 交通需求导向分析

本文按照城市交通相关规划确定的轨道交通合理分担比率及相应的客运量,同时参考其他城市轨道交通相应指标参数,考虑线网的合理负荷强度,确定基于交通需求导向的轨道交通建设规模。

##### (1) 参数分析

**人口规模:**2023 年东莞市常住人口为 1049 万人,根据《东莞市国土空间总体规划(2021~2035 年)》,2035 年为 1300 万人,根据全国人口的下降趋势以及大湾区未来的发展,判断 2040 年东莞市的常住人口与 2035 年相当。

**机动化出行率:**根据《东莞市综合交通运输体系数据调查报告》,现状东莞市的机动化出行率为 1.04 人次/日。参考北京、上海、广州、深圳等国内一线城市(约 1.3~1.6 人次/日),结合东莞实际,预计 2035 年东莞的机动化出行率达 1.3 人次/日,2040 年达 1.4 人次/日。

**分担率:**现状东莞全市的公交占机动化的分担率为 5.8%。根据《东莞市综合交通模型(2023)》,结合东莞市公交出行环境,确定东莞公交分担率未来的变化特征主要为:2025 年相对现状不会有太大提升,2035 年随着城市高强度的开发、轨道的建设以及交通出行环境的变化,将达到 30%~35%。轨道占公交的分担率参考国内广州、深圳、苏州等城市的特征,约 30%~60%。

线网负荷强度：参考国内轨道城市(见图 2)，线网负荷强度大小与城市 TOD 开发程度、线网的覆盖率、线网的连通度有较大关系。轨道里程规模较大、轨道覆盖较广、网络化程度较高、围绕轨道站点周边形成集聚性较强出行的城市，如北京、上海、广州、深圳等，线网负荷强度一般在 1.1~1.4；轨道里程 200~300 km，轨道初步成网的城市，线网负荷强度一般在 0.5~1；轨道里程 100 km 左右，轨道骨架初步形成，轨道发展未成熟时，负荷强度一般不高，约 0.2~0.4。结合东莞轨道交通建设进展，2025 年基本形成骨干网络，负荷强度取 0.4，2030 年轨道初步成网，负荷强度取 0.8，2035~2040 年，轨道网络较为成熟，负荷强度取 1.30。

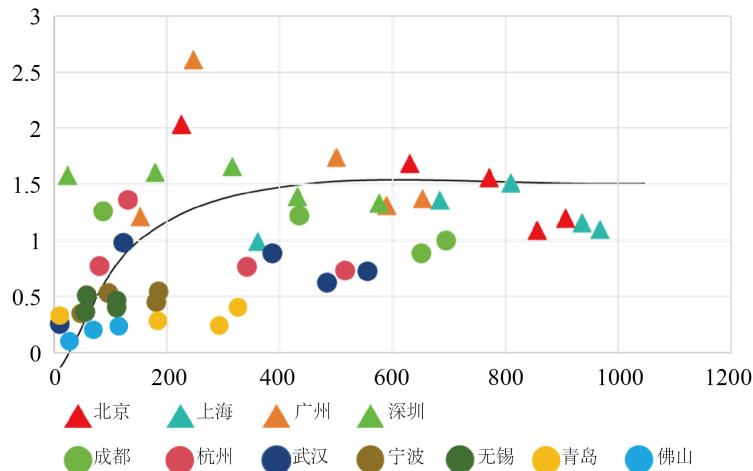


Figure 2. Load intensity of rail network of Major domestic cities in 2009, 2015, 2021, 2023

图 2. 国内主要城市在 2009、2015、2019、2021、2023 年不同轨道线网规模下的负荷强度

(2) 规模需求测算过程

根据上述分析得到的人口规模、机动化出行率、公交占机动化分担率、轨道占公交分担率、换乘系数、负荷强度等参数，测算未来特征年的线网规模，计算过程见表 4。

Table 4. Demand for scale of the rail transit

表 4. 轨道建设规模需求测算结果

序号	指标	2025	2030	2035	2040
(一)	机动化出行量(万人次/日)	1186	1386	1690	1755
(二)	公交占机动化分担率	10%~15%	25%~30%	30~35%	35%~40%
(三)	公交出行量(万人次/日)	125~178	347~416	507~592	614~702
(四)	轨道占公交分担率	35%	40%	50%	60%
(五)	轨道年出行量(万人次)	44~62	139~166	254~296	369~421
(六)	换乘系数	1.06~1.6			
(七)	负荷强度	0.4	0.8	1.3	1.3
(八)	线网总规模需求(km)	78~110	222~266	293~341	454~518

通过内插法计算, 每期建设规划轨道线网需求如表 5。

**Table 5.** Demand for scale of the rail transit in every construction period

**表 5.** 每期末轨道建设规模需求测算结果

序号	指标	2027~2032 (三期)	2033~2038 (四期)
1	总规模需求(km)	250~296	389~448
2	每期内规模需求(km)	87~133	139~151

### 2.2.3. 轨道工程实施进度分析

参考苏州、无锡、佛山等与东莞经济体量、城市定位相类似的城市, 近 5 年来轨道交通建设速度为 10~33 km/年(见表 6), 其中苏州建设速度最高, 无锡最低。从城市地理位置、城市开发强度、土地性质(东莞的集体土地较多)、征地拆迁难度等方面, 认为东莞的轨道工程实施难度和进度与佛山应最为相近, 建议采用平均每年 18~20 km 的实施建设速度, 则每个规划期(6 年)为 108~120 km。

**Table 6.** Construction speed of the rail transit of the same type cities in 2018~2025

**表 6.** 2018~2025 年同类型城市轨道交通建设速度

	轨道建设规模(km)	建设速度(km/年)	土地开发强度	人口密度
东莞	/	/	52%	4262 人/平方公里
苏州	165.64	33.13	29%	2242 人/平方公里
无锡	55.07	11.01	40%	1619 人/平方公里
佛山	93.9	18.78	41%	2532 人/平方公里
宁波	110.64	22.13	20%	817 人/平方公里

### 2.2.4. 综合分析

结合交通需求导向以及财政承受能力限制分析, 综合得出 2027~2032 合理规模为 81~92 km, 2033~2038 为 108~120 km, 见表 7。

**Table 7.** Construction scale of the rail transit in every construction period

**表 7.** 每一期轨道建设规模测算结果

指标	2027~2032 (第三期)	2033~2038 (第四期)
财政承受能力(km)	81~92	135~154
交通需求(km)	87~133	139~151
轨道工程实施进度(km)	108~120km	108~120km
综合(km)	81~92	108~120

## 3. 轨道交通建设时序分析

### 3.1. 分析基础

2016 年 5 月, 东莞市城市轨道交通 2 号线一二期开通运营, 里程 37.8 km、车站 15 座, 线路连接东莞火车站和虎门高铁站, 纵向穿过中心城区发展轴带, 东莞正式迈入地铁时代。2019 年 2 月, 城市轨道交通 1 号线一期工程全线开工建设, 线路长度约 58 km; 同年, 东莞市启动《东莞市轨道交通网络规划(2035)》的

编制工作，至远期 2035 年，规划形成“4·9·1”共 476 公里城市轨道交通网络。2022 年，国家发展改革委正式批复城市轨道交通第二期建设规划调整。根据建设规划，目前 1、2、3 号线的建设时序已基本明确，为推动东莞市轨道交通发展，须对第二期建设规划以后的线路进行提前研究和安排，因此，本论文以 2027 年(二期建设规模结束后的第一年)为研究初始年，结合《东莞市轨道交通网络规划(2035)》的线路，本文以其中 9 条紧迫性较强的城市轨道交通线路作为研究对象(见表 8)，以 6 年为每一轮建设规划年限，对线路的建设时序进行研究。

**Table 8.** The 9 most urgent rail transit lines  
**表 8.** 紧迫性较高的 9 条轨道交通线路

序号	名称	总里程(公里)	总投资(亿元)
1	1 号线(麻涌段)	10.9	68
2	1 号线支线	17.9	143
3	6 号线	27.9	223
4	7 号线	35	280
5	8 号线	29.6	237
6	12 号线	30	240
7	5 号线南段	19	152
8	9 号线	37.4	299
9	深圳 10 号线	9.8	90
—	合计	217.5	1732

按照先强心内聚后外联的原则，本文将连接东莞南站与中心城区的 1 号线支线、连接松山湖科学城的 5 号线以及强化东莞核心区与广州核心区衔接的 1 号线麻涌段，均纳入第三期优先建设。9 号线近期建设必要性不强，考虑第四期建设；深圳 10 号线对东莞市中心发展支撑影响不大，但考虑深圳 10 号线与深圳建设安排的衔接，第四期中优先推动建设。在此基础上(见表 9)，结合每条线路对城市发展的支撑、线路客流效益、施工影响等条件，综合分析轨道 6、7、8、12 号线的具体时序。

**Table 9.** Foundation conditions of the construction sequencing plan  
**表 9.** 建设时序方案基础条件

时间	线路	备注
2027~2032 (第三期)	1 号线支线(塘厦段)	1 支：连接东莞南站(赣深线)、樟木头火车站，加强与铁路枢纽与城市的联系，衔接规划深圳 22 号线
	5 号线南段	5 号线南段：连接松山湖北站与片区中部，可作为 3 号线在松山湖的补充，且在 3 号线、7 号线建成通车后，方能形成一定的规模效应
	1 号线麻涌段	1 号线麻涌段：衔接广州线路，加强与广州线路衔接
2033~2038 (第四期)	深圳 10 号线	深圳 10 号线：与深圳建设衔接，暂按第二批建设，在第一批建设资金存在富裕下，可考虑纳入第一批建设
	9 号线	9 号线：沿线周边为工业和农田为主，在 2 号线三期已经实现滨海湾与市中心的联系下，近期必要性不强；

### 3.2. 轨道建设时序模型构建

轨道建设时序的模型构建分析主要基于时序指标决策矩阵以及影响指标的权重，综合确定每条线路



的排序优先度。若有  $n$  条轨道交通线路  $Q$  近期需要推动建设,  $Q = \{Q_1, Q_2, \dots, Q_n\}$ , 影响排序的指标  $k$  有  $m$  个,  $k = \{k_1, k_2, \dots, k_m\}$ , 则轨道建设时序的初始决策矩阵为  $Q_0 = (q_{ij})_{n \times m}$ , 其中  $i \in n, j \in m$ 。

在结合影响因素指标对每条线路的优先度进行排序过程中, 由于每类指标可能存在较大数量级差, 如轨道客流量为万人次/天, 轨道建设成本为亿元, 而空间协同度、网络化支撑度等不存在单位, 因此需要将不同量纲的所有分析指标进行归一化, 即将初始矩阵标准化, 标准化矩阵为  $R = (r_{ij})_{n \times m}$ , 其中  $i \in n, j \in m$

对于各影响指标, 其对轨道的影响作用不应是均等的, 应当有所侧重, 尤其是国家对轨道客流效益的要求进一步强化, 因此其权重应当高于一般性的指标。本文采取 AHP 层次分析法(主观法)和熵权法(客观法)综合确定各影响指标的权重。AHP 层次分析法的原理是采用 1~9 标度法构造判断矩阵, 经单排序及一致性检验, 求得指标权重; 熵权法是将标准化决策矩阵  $R$  中的元素  $r_{ij}$  求得指标的信息熵, 在基于信息熵计算对应指标的熵权重。

其中, 信息熵计算公式为:

$$e_j = -\frac{\sum_{i=1}^n r_{ij} \ln(r_{ij})}{\ln n}$$

熵权重计算公式为:

$$w_j = \frac{1 - e_j}{\sum_{j=1}^m (1 - e_j)}$$

最终得到第  $j$  个指标的综合权重  $w_j$ :

$$w_j = w_{j1} * w_{j2} / \sum_{j=1}^m w_j * w_j$$

式中:  $w_{j1}$ : 通过 AHP 层次分析法得出的第  $j$  个指标的权重;

$w_{j2}$ : 通过熵权法得出的第  $j$  个指标的权重。

轨道建设时序结果:

$$\mu_i = \sum_{j=1}^m w_j r_{ij}$$

最终  $\mu_i$  值越高, 线路的排序越前, 紧迫度和意义越高。

### 3.3. 时序影响指标分析

影响轨道交通建设时序的因素较多, 涉及工程技术难度、社会效益、经济效益等多个方面, 本文选取轨道与城市空间的协同度  $k_1$ 、轨道线路客流效益  $k_2$ 、轨道交通建设成本  $k_3$ 、轨道线路的网络化支撑度  $k_4$ 、轨道沿线土地开发效益  $k_5$ 、轨道沿线人口岗位  $k_6$  等 6 项典型的影响指标形成分析体系, 采用 AHP 层次分析法(主观法)和熵权法(客观法)相结合的方法计算各指标的权重, 通过对各项指标的分析提出量化公式, 从而确立各线路的建设时序优先度。

#### (1) 轨道与城市空间的协同度分析 $k_1$

轨道与城市空间的协同度是指在国土空间规划、中心城区总体城市设计等近中远期规划中的重点战略地区、枢纽与轨道线路的空间协同程度。对于目前已经有良好开发基础且属于市级战略发展地区或重大枢纽地区(如行政文化中心、南城 CBD), 得 3 分, 对于经过目前的重要商圈或中远期市级重大战略地区或一般性枢纽(如东城中心、二高铁片区, 篮球中心、黄旗南、西平枢纽、松山湖北), 得 2 分, 对于经过市级公共服务中心(如人民公园、妇幼院、虎英公园、中医院), 得 1 分, 计算过程见表 10。

**Table 10.** Strategic city node, Important business district and  $k_1$   
**表 10.** 轨道线路经过的战略性城市节点、重要商圈以及  $k_1$  值

线路名称	轨道经过的重大城市节点或商圈	轨道与城市空间的协同度分值
6 号线	行政文化中心、南城 CBD、二高铁片区、人民公园	9
7 号线	松山湖北、东城中心、行政文化中心	7
8 号线	西平枢纽、篮球中心、黄旗南、中医院	7
12 号线	妇幼院、虎英公园、二高铁片区	4

(2) 客流效益分析  $k_2$

线路的客运量、客流强度等指标，一般采用传统四阶段法进行交通预测模型搭建，结合轨道线路未来沿线的土地利用情况、出行生成情况、出行分布规律、方式划分模型、交通分配模型，得出每一条线路近期的客运总量和客流强度。考虑客流预测不是本文的主要内容，因此本文主要参考 6 号线、7 号线、8 号线、12 号线轨道交通线路详细规划中单线运营的客流数据作为评价指标参考，见表 11。

**Table 11.** Rail transit passenger flow benefits  $k_2$   
**表 11.** 轨道线路客流效益指标  $k_2$

线路	里程(km)	客运总量(万人次/天)	客流强度(万人次/天)
6 号线	27.9	56	2.01
7 号线	35	67.1	1.92
8 号线	29.6	55.6	1.88
12 号线	30	45.4	1.51

(3) 建设成本  $k_3$

线路建设成本即轨道线路的工程造价，主要结合线路的长度以及目前东莞市轨道交通每公里的造价初步估算对应的线路成本，各线路工程造价见表 12。

**Table 12.** Rail transit construction cost  $k_3$   
**表 12.** 轨道线路工程造价  $k_3$

	线路里程(km)	建设成本(亿元)
6 号线	27.9	223.2
7 号线	35	280
8 号线	29.6	236.8
12 号线	30	240

(4) 轨道网络化支撑度  $k_4$

轨道网络化支撑度主要指轨道线路建设对轨道网络形成的支撑作用，本文主要采用轨道线路与既有城市轨道交通、铁路之间的换乘节点数量进行分析，线路具体换乘节点数量见表 13。

**Table 13.** Rail transit transfer node  $k_4$   
**表 13.** 轨道线路换乘节点  $k_4$

序号	线路	既有及建设规划线路换乘点
1	6 号线	2 个(与 1、2 号线换乘)
2	7 号线	4 个(与 1、2、3 号线和莞佛城际换乘)
3	8 号线	3 个(与 1 号线换乘 2 次、与 2 号线换乘 1 次)
4	12 号线	4 个(与 1、2 号线各换乘 2 次)

(5) 沿线土地开发效益  $k_5$

轨道沿线土地开发效益大小可有效支撑轨道建设运营的可持续，本文梳理线路站点 500m 范围内可直接开发利用的土地进行分析，包括符合国空的现状农用地、未利用地、已批未建用地，其中 6 号线 215 公顷，7 号线 53 公顷，8 号线 150 公顷，12 号线 115 公顷。

(6) 沿线人口岗位规模  $k_6$

人口岗位规模可以反应轨道线路的客流潜力以及市民对轨道的获得感和幸福感，轨道 6 号线人口岗位规模约 78 万，轨道 7 号线人口岗位规模约 120 万，轨道 8 号线人口岗位规模约 96 万，轨道 12 号线人口岗位约 82 万。

### 3.4. 计算结果

根据第 3.3 节中确定影响轨道交通建设时序的 6 个指标，通过 AHP 层次分析法和熵权法得到的权重如表 14 所示。

**Table 14.** Comprehensive weight of the index  $k_4$   
**表 14.** 各指标综合权重结果

指标	城市空间协同性	客流效益	建设成本	网络化功能作用程度	沿线土地开发效益	沿线人口岗位
熵权法确定权重	0.168	0.157	0.155	0.167	0.193	0.160
AHP 法确定权重	0.403	0.252	0.040	0.094	0.058	0.154
综合权重	0.410	0.240	0.038	0.095	0.068	0.149

根据 3.3 中的分析，可得到初始化决策矩阵如下：

$$Q_0 = \begin{bmatrix} 9 & 56 & 223 & 2 & 215 & 78 \\ 7 & 67 & 280 & 4 & 53 & 120 \\ 7 & 56 & 237 & 3 & 150 & 96 \\ 4 & 45 & 240 & 4 & 115 & 82 \end{bmatrix}$$

标准化决策矩阵如下：

$$R = \begin{bmatrix} 0.33 & 0.25 & 0.23 & 0.15 & 0.40 & 0.21 \\ 0.26 & 0.30 & 0.29 & 0.31 & 0.10 & 0.32 \\ 0.26 & 0.25 & 0.24 & 0.23 & 0.28 & 0.26 \\ 0.15 & 0.20 & 0.24 & 0.31 & 0.22 & 0.22 \end{bmatrix}$$

最终得到 6 号线的结果为 0.247, 7 号线的结果为 0.225, 8 号线的结果 0.216, 12 号线的结果为 0.162,

6号线的时序优先度明显高于其他线,12号线的时序优先度远低于其他3条线,而7号线和8号线的时序优先度相当,最终最优的建设时序应该是6号线、7号线、8号线、12号线。

#### 4. 分期建设方案

综合3.4各线路的时序优先度,以及2.2.4各个建设规划期轨道的可建设规模,综合确定相应的建设方案。由于第三期轨道的可建设规模为81~92 km,无法同时满足1号线支线(塘厦段)、5号线南段、1号线麻涌段、7号线、6号线等5条线路的总建设规模,因此将7号线进行拆解。其中为了避免了6、7号线在行政中心片区同时施工导致的城市交通拥堵问题,第三期优先修建体育路站-松山湖北站段,7号线体育路站-陈屋站、松山湖北-大朗站可作为第四期建设规划的内容进行修建。对于第四期规划,由于深圳10号线、9号线、7号线二期(体育路站-陈屋站)、8号线、12号线的总规模为126 km,已经超过第四期规划的最大可建设规模,考虑9号线沙田段的需求不紧迫,因此将9号线大湾区大学-河田站从第四期规划中剔除。最终推荐方案见表15。

Table 15. Recommendation of constructing by stages of rail transit

表 15. 轨道交通分期建设推荐方案

时间	规模限额 (km)	线路建设总规模(km)	线路方案
2027~2032 (第三期)	81~92	92 km	1号线支线(塘厦段)、5号线南段、1号线麻涌段、7号线一期(大朗站-体育路站)、6号线
2033~2038 (第四期)	108~120	108	深圳10号线、7号线二期(体育路站-陈屋站)、8号线、12号线

#### 5. 结论

根据前文分析结果,东莞市未来轨道交通建设时序为1号线支线(塘厦段)、5号线南段、1号线麻涌段、7号线一期(松山湖北站-体育路站)、6号线;深圳10号线、7号线二期(体育路站-陈屋站、松山湖北-大朗站)、8号线、12号线、9号线。本文提出的建设时序研究方法是从城市的实际出发,考虑财政承受能力、客流需求、城市施工建设速度等情况,具有较强的客观性,同时结合城市总体发展需求、客流效益、建设成本、网络化支撑度等方面,综合研判线路的建设时序优先度,具有较好的科学性,可为东莞市轨道交通规划建设时序的研究提供思路,当然本方法也存在一些问题,尤其是对未来城市的财政收支情况的分析,由于缺乏财政部门的具体数据,因此财政收入的预测结果可能存在一定的误差。

#### 参考文献

- [1] 成华,贺方会,李俊芳.城市轨道交通近期建设时序的确定方法[J].城市交通,2010,8(3):13-16,71.
- [2] 陈群,谢磊,董建军.城市轨道交通线路建设时序决策系统研究[J].铁道运输与经济,2009,31(10):51-53.
- [3] 董新婉,顾丹.城市轨道交通建设时序分析[J].地下空间与工程学报,2012,8(S2):1646-1650.
- [4] 黄睿,梁青槐.基于节点重要度理论的轨道交通线路建设时序[J].都市轨道交通,2012,25(3):21-24.
- [5] 陈元朵,徐建闽,郭京波.基于“重要度-交通区位”的轨道交通建设项目时序确定方法研究[J].交通信息与安全,2010,28(3):60-62.
- [6] 张嘉敏.城市轨道交通项目建设时序的 Monte Carlo 和 AHP 法仿真[J].城市轨道交通研究,2012,15(12):120-124.
- [7] 张凯,秦斌斌,刘用渗,张方舟.城市轨道交通规划建设时序研究[J].都市轨道交通,2016,29(1):4-7,34.
- [8] 郭延永,刘攀,吴瑶.城市轨道交通建设时序确定方法[J].武汉理工大学学报,2013,35(6):75-80.