

doi: 10.16104/j.issn.1673-1891.2022.04.007

# 福州轨道交通线网运营与经济发展耦合协调性研究

陈燕琴

(福建船政交通职业学院轨道交通学院, 福建 福州 350007)

**摘要:**城市轨道交通线网运营与城市经济发展有效协调是城市轨道交通良性发展的重要基础。借鉴物理学中的容量耦合系数模型,采用耦合协调度模型对2016—2021年福州城市轨道交通运营和福州经济发展数据进行了实证分析,通过测算福州市轨道交通运营水平指数、福州经济发展水平指数、2系统的耦合度和耦合协调度,研究2系统间的耦合协调能力。研究表明:福州市轨道交通运营水平和经济发展水平都保持着较好的上升趋势,且轨道交通运营水平高于经济发展水平;福州市轨道交通运营与经济发展具有较高的耦合度;虽然2系统的耦合协调度水平较低,但是保持着持续上升趋势,2019年开始福州轨道交通线网运营与经济发展进入良好协调阶段。

**关键词:**福州经济;轨道交通线网运营;耦合协调;联动发展

**中图分类号:**U239.5 **文献标志码:**A **文章编号:**1673-1891(2022)04-0041-06

## Study on Degrees of Coupling Coordination Between Rail Transit Network Operation and Economic Development in Fuzhou

CHEN Yanqin

(School of Rail Transit, Fujian Chuanzheng Communications College, Fuzhou, Fujian 350007, China)

**Abstract:** Effective coordinated development of urban rail transit network operation and urban economy is an important foundation for benign development of urban rail transit. Drawing on the Capacity Coupling Coefficient model in physics, this paper uses the coupling coordination degree model to empirically analyze the data of rail transit operation and economic development from 2016 to 2021 in Fuzhou by measuring the rail transit operation level index, Fuzhou economic development level index, coupling and coupling coordination degrees of the two systems. The results show that the operation and economic development of Fuzhou urban rail transit keep a good upward trend, and the operation level of rail transit is higher than that of economic development. Fuzhou urban rail transit operation and economic development has a high degree of coupling. Although the coupling coordination degree of the two systems is low, it follows an upward trend. From 2019, the rail transit network operation and economic development in Fuzhou have entered a stage of good coordination.

**Keywords:** economic development in Fuzhou; rail transit network operation; coupling coordination; coordinated development

### 0 引言

随着城市经济发展和国家城市群规划建设的大力推进,城市人口的迅速增长,城市交通出行的压力随之增大。城市轨道交通由于具有运输效率高的优势,成为缓解城市交通压力的最佳方式之一。城市轨道交通的建设作为运输产业直接带动城市经济的发展,同时,城市轨道交通运营服务间接支持着城市经济的发展。城市轨道交通线网运营与城市经济发展相互影响、互相联动。城市轨道

交通线网运营与经济发展有效协调、互相带动的效应,是城市轨道规划建设合理性的主要评价内容之一,是城市社会经济健康发展的重要基础。

城市轨道交通运营与城市经济发展之间相互作用、相互影响,对2个系统之间的协调发展情况及发展效率的分析与评价,可以为2个系统后续的发展提供参考。采用合理的效率评价方法是保证高质量评价结果的重要内容。耦合度可用于判别多个系统间的耦合作用强度,对分析系统间的协调发展水平具有重要意义。耦合协调度可以进一步体

收稿日期:2022-05-07

作者简介:陈燕琴(1984—),女,福建漳平人,副教授,硕士,研究方向:轨道交通运营管理、交通运输经济。

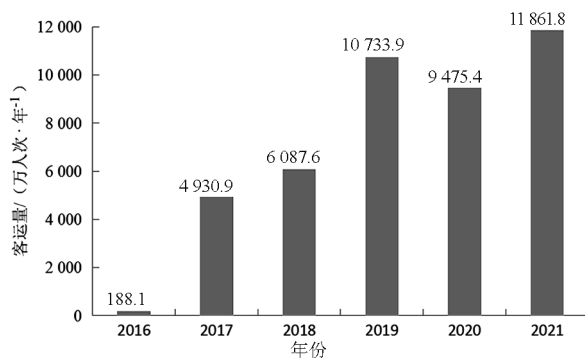
现系统间良性耦合程度的大小,呈现评价系统间协调状况的好坏,因此,耦合度及耦合协调度模型在评价系统间协调发展状况方面具有明显的优势。王光波<sup>[1]</sup>构建了城市轨道交通系统与城市社会经济系统综合评价体系,利用主成分分析法确定指标权重及2个评价系统的综合得分,再采用耦合协调度模型对30个已运营的轨道交通城市进行实证分析,确定了不同协调发展类型的城市,为我国未来的城市轨道交通规划与发展提供了有力依据;张海涛<sup>[2]</sup>运用耦合协调度模型以丝绸之路经济带所包含的3条经济走廊里中国城市为样本,评价了交通运输业与城市化之间的耦合协调发展情况,分析了交通运输业与城市发展协调发展效率进一步提升的方向与策略;潘振兴<sup>[3]</sup>利用耦合协调度模型对新疆维吾尔自治区15个地(市)2009—2017年的铁路网与区域经济进行评价与分析,揭示铁路网与区域经济2系统之间的耦合协调程度及发展规律,旨在指导区域铁路与区域经济的协调发展;刘廷东<sup>[4]</sup>基于国内15个城市轨道交通与城市经济相关数据,建立城市轨道交通-城市经济发展生产函数模型,分析发现国内总体上城市轨道交通与城市经济发展之间有正向关系,呈现协同发展关系,但协调成效不太显著,城市轨道交通规划建设与运营管理还有待进一步合理布局与统筹管理。福州市作为新兴的城轨交通城市,仍处于城轨交通建设阶段,截至2022年3月,城轨交通运营总里程为58.5 km,城轨交通运营带来的经济社会效益逐步呈现。目前,福州城市轨道交通的发展研究主要是从轨道交通建设的角度进行探讨,但城轨交通线网运营与对福州经济发展的相关研究并不多。耦合模型在分析2对象之间的联动影响作用上具有一定的适用性,但其应用研究的广度与深度略显不足。本文将结合城市经济发展、轨道交通建设规模、轨道交通运营水平等多方面的影响因素,基于2016—2021年的相关数据采用耦合模型对福州轨道交通线网运营与福州经济发展的耦合协调程度进行评价,为福州市轨道交通的建设发展提供参考。

## 1 福州轨道交通运营与经济发展概况

### 1.1 福州轨道交通运营概况

福州社会经济的发展促进城市规模的扩大,带动了城市居民的交流,扩大了城市居民的交流活动范围,提升了城市居民出行量,进而对福州市城市公共交通提出了更高的要求,其中福州市轨道交通线网的建设迫在眉睫。2009年福州市城市地铁责

任有限公司成立,随之福州多条地铁线路陆续开工建设。2016年5月,福州地铁1号线正式建成通车,福州成为中国大陆第24个开通地铁的城市,标志着服务于福州的城市轨道交通系统正式落地实施。目前,福州地铁1号线、2号线已建成运营,共有58.5 km里程,49个运营场站。地铁1号线和2号线在福州中心城区形成“十”字形骨架,主要服务于福州中心城区南北向、东西向出行者的交通需求,有效地缓解了福州市区的交通压力,逐步呈现城市公共交通在福州城市客运交通体系中的主导地位。自2016年5月18日地铁1号线开通试运营以来,至2021年12月,地铁1号线、2号线全年客运量达11 861.8万人次(图1),2021年12月31当天客运量达到55.7万人次。



注:数据来源于《福州统计年鉴(2011—2021)》。

图1 2015—2021年福州地铁客运量

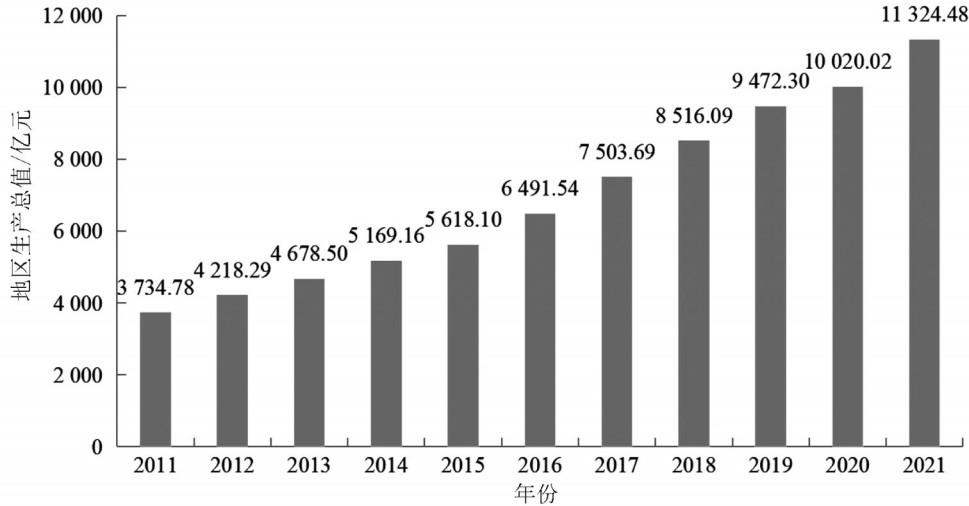
交通强国建设工程仍然是《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》(以下简称“十四五”规划)的重大建设项目之一,“十四五”规划中表明新增城市轨道交通运营里程达到3 000 km。在国家新一轮的发展背景下,福州轨道交通的建设与发展依然是福州市城市建设和发展的重要内容之一。截至2022年2月,福州地铁4号线、5号线、6号线、2号线延伸线(二期)及F1快线正在抓紧建设,推进福州城际轨道交通线网不断完善,促进福州从单一主城向都市区的拓展与提升。城际轨道交通对城市及经济的发展具有较强的影响力。张晓莉等<sup>[5]</sup>(2009)的研究表明,每1亿元的轨道交通投资项目,可实现2.63亿元的GDP增长,并创造8 000个以上的就业岗位。福州城际轨道及地铁交通不断强化着城市区域间的联系,集中人口、集成资源要素,进而形成强有力的产业集聚效应,带动城市经济的发展,提升福州城市的吸引力。

### 1.2 福州经济发展概况

随着海峡西岸经济区战略目标的实施,福州提出了“沿江向海、东扩南进西拓”的发展战略,社会

经济迎来了全面的新发展机遇。特别是党的十八大以来,福州经济社会得到了长足快速的发展,产业结构持续优化,产业经济提质增效,发展活力、创新活力持续增强,2021年地区生产总值超过了1.1万亿元(图2)。从2011年开始,福州市地区生产总

值呈现逐年增长的趋势,近10年经济社会一直保持平稳健康可持续的发展态势。福州市“十四五”规划提出:今后5年福州市经济将继续持续健康发展,增长潜力、内需潜力充分发挥,实现经济总量在全国主要城市中争先进位。



注:数据来源于《福州统计年鉴(2011—2021)》。

图2 2011—2021年福州地区生产总值

## 2 城市轨道交通线网运营与经济发展协调发展评价模型

### 2.1 耦合度评价模型

城市轨道交通线网运营与城市经济发展是相互影响的2个系统。城市轨道交通线网的完善优化带动城市社会经济活动,促进城市经济的发展;城市经济的繁荣发展又为城市轨道交通的规划建设提供了资金支持,进而推进城市轨道交通线网的不断完善优化。掌握系统间的协调能力,明确系统间的作用效率,可以更有效地引导城市轨道交通规划建设,更好地把握城市社会经济的发展方向。本文借鉴物理学的容量耦合概念及耦合系数模型,构建耦合协调度模型,分析福州市轨道交通线网运营与福州市经济发展的耦合协调能力、相互带动作用。

系统耦合是指多个子系统间存在动态关联关系,通过相互影响和互相作用带动系统间良性互动的过程<sup>[5]</sup>。多个系统相互作用耦合度模型如式(1)所示。

$$C_d = d \times \left[ \frac{u_1 \times u_2 \times \dots \times u_d}{(u_1 + u_2 + \dots + u_d)^d} \right]^{\frac{1}{d}} \quad (1)$$

式中: $C_d$ 表示第 $d$ 个系统的耦合度; $d$ 表示评价系统数量, $d \geq 2$ ;  $U$ 表示每个系统的评价值集, $U = (u_1,$

$u_2, \dots, u_d)$ 。

本人针对城市轨道交通线网运营与城市经济发展2个系统的耦合度进行分析,2个系统之间的耦合度模型如式(2)所示。

$$C = 2 \left\{ \frac{(u_x u_y)}{[(u_x + u_y)(u_x + u_y)]} \right\}^{1/2} = 2 \sqrt{\frac{u_x u_y}{(u_x + u_y)^2}} \quad (2)$$

式中: $C$ 表示城市轨道交通线网运营-城市经济发展的耦合度, $C = [0, 1]$ 。 $C$ 越接近0,说明城市轨道交通线网运营与城市经济发展2系统耦合度越低,互动联系越弱; $C$ 越接近1,城市轨道交通线网运营与城市经济发展耦合度越高,2个系统互动联系越强。 $u_x$ 表示城市轨道交通线网运营评价水平, $u_y$ 代表城市经济发展评价水平, $u_x$ 和 $u_y$ 可分别由式(3)和(4)计算而得。

$$u_x = \sum_{j=1}^n w_j x_j \quad (3)$$

$$u_y = \sum_{k=1}^n v_k y_k \quad (4)$$

式(3)~(4)中: $w_j$ 表示城市轨道交通线网运营系统的第 $j$ 个指标权重; $x_j$ 表示城市轨道交通线网运营系统的第 $j$ 个指标标准化值; $n$ 表示城市轨道交通线网运营系统的评价指标数; $v_k$ 是城市经济发展系统的第 $k$ 个指标权重; $y_k$ 表示城市经济发展系统的第 $k$ 个指标标准化值。



### 2.2 耦合协调度评价模型

耦合度能反映 2 个系统之间的作用和影响程度,在判别 2 个系统作用强度、作用的区间以及预警系统间发展秩序等具有十分重要的意义。但是耦合度不分利弊,无法表明各系统自身的发展水平,即存在测算出的耦合度很高,但是 2 个系统本身发展水平却比较低的现象。因此,单靠耦合度来判断 2 个系统发展协调关系准确度并不高。借鉴丛晓男等<sup>[6]</sup>的研究,采用耦合协调度模型进一步度量城市轨道交通线网运营与城市经济在发展过程中彼此协调一致的程度。耦合协调度通过反映系统由无序走向有序的趋势,呈现系统间良性耦合程度的高低,体现了协调状况好坏,既可以反映各系统自身的发展水平,又可以反映系统间的相互作用程度。因此,耦合协调度可以反映系统间是高质量的相互促进关系,还是低水平的相互制约关系。耦合协调度  $D$  如式(5)所示。

$$D = \sqrt{C \times T} \tag{5}$$

式中:  $T$  表示城市轨道交通线网运营系统与城市经济发展系统间的综合评价指数,  $T = \alpha u_x + \beta u_y$ 。其中,  $\alpha$ 、 $\beta$  为待定参数,代表城市轨道交通线网运营系统与城市经济发展系统对整体的重要度,一般认为 2 个系统对整体的作用相同,因此取  $\alpha = \beta = 0.5$ 。

借鉴廖重斌<sup>[7]</sup>所界定的耦合协调度  $D$  等级标准,如表 1 所示。

表 1 耦合协调度等级表

区间	耦合协调度
0~0.1	极度失调
>0.1~0.2	严重失调
>0.2~0.3	中度失调
>0.3~0.4	轻度失调
>0.4~0.5	濒临失调
>0.5~0.6	勉强协调
>0.6~0.7	初级协调
>0.7~0.8	中级协调
>0.8~0.9	良好协调
>0.9~1.0	优质协调

### 2.3 初始数据标准化

式(2)中,  $u_x = (x_{ij})_{m \times n}$  代表城市轨道交通线网运营系统评价数据集,  $u_y = (y_{ik})_{m \times k}$  代表城市经济发展系统评价数据集,  $i$  指的是选取的样本数,  $i = (1, 2, 3, \dots, m)$ 。  $j$  和  $k$  分别代表各系统数据集中的指标

数,  $j/k = (1, 2, 3, \dots, n)$ 。由于数据集中的指标量纲不同,直接应用会影响模型计算结果,因此,需要对初始数据集进行标准化处理。借鉴多位学者的研究,一般采用极差标准化对初始数据进行无量纲处理。由于极差标准化公式对初始数据进行无量纲后,会出现标准化数据为 0 值,进而出现耦合度为 0 值,导致耦合度无意义。因此,有学者提出可以对值域区间进行平移,增加截距项为式(6)(7)所示。

$$x'_{ij} = \begin{cases} \frac{x_{ij} - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \times 0.99 + 0.01 & (x_{ij} \text{ 为正功效}) \\ \frac{x_{\max} - x_{ij}}{x_{\max} - x_{\min}} \times 0.99 + 0.01 & (x_{ij} \text{ 为负功效}) \end{cases} \tag{6}$$

$$y'_{ik} = \begin{cases} \frac{y_{ik} - y_{\min}}{y_{\max} - y_{\min}} \times 0.99 + 0.01 & (y_{ik} \text{ 为正功效}) \\ \frac{y_{\max} - y_{ik}}{y_{\max} - y_{\min}} \times 0.99 + 0.01 & (y_{ik} \text{ 为负功效}) \end{cases} \tag{7}$$

式中:  $x'_{ij}$  和  $y'_{ik}$  分别表示城市轨道交通线网运营系统评价指标原始数据和城市经济发展系统评价指标原始数据增加截距项后的标准化指标评价价值。

### 2.4 指标体系及指标权重确定

城市轨道交通线网运营与城市经济发展耦合协调评价涉及 2 个系统的发展运作情况,评价体系的指标相对比较复杂。充分考虑评价对象的实际情况,兼顾指标选取的科学性、可行性、代表性及通用性。借鉴王光波<sup>[1]</sup>的研究,充分体现指标较强的直观性、导向性与综合性,最终确定轨道交通运营线网长度、客运总量及运营场站数为城市轨道交通运营子系统的评价指标,直接反映城市轨道交通运营规模与运营水平。选取地区生产总值、居民消费支出和社会消费品零售总额作为城市经济发展子系统的评价指标,最直观代表城市经济发展的规模与水平。本文选用居民消费支出,不仅可以反映城市经济的增长促进居民人均可支配收入的提升,又可以体现居民收入水平提高对城市经济的带动能力。

评价指标代表的影响因素对评价系统的影响程度不同,体现到评价系统中的权重也是不同的。多数研究采用熵值法来确定指标权重,具体如式(8)~(10)所示。

$$E_i = -\ln(d) \sum_{j=1}^m p_{ij} \ln(p_{ij}) \tag{8}$$

$$p_{ij} = \frac{X'_{ij}}{\sum_{j=1}^m X'_{ij}} \tag{9}$$

$$W_j = \frac{1 - E_j}{\sum E_j} \tag{10}$$

式(8)~(10)中: $E_j$ 为第 $j$ 个指标的信息熵值; $p_{ij}$ 为标准化后的指标数值所占的比重; $E_i$ 为第 $j$ 个指标的熵值; $m$ 为样本个数; $W_j$ 为计算得到各指标的权重值。

### 3 福州轨道交通线网运营与经济发展耦合协调分析

#### 3.1 原始数据及指标权重

文中原始数据(表2)主要来源于中国城市轨道交通

交通协会的城市轨道交通2016—2021年统计和分析报告、国家交通运输城市公共交通客运量数据、《2016—2021年国家统计局年鉴》与《2016—2021年福州统计年鉴》。原始数据经过极差标准化处理后,再采用熵值法计算各指标的权重,得到福州城市交通运营线网里程 $x_{11}$ 、客运量 $x_{12}$ 、场站数 $x_{13}$ 、地区生产总值 $y_{21}$ 、居民消费支出 $y_{22}$ 和社会消费品零售总额 $y_{23}$ 权重分别为:0.343 1、0.268 4、0.388 4、0.333 4、0.397 1和0.269 5。

表2 2016—2021年福州市轨道交通线网运营与经济发展评价系统原始数据

年份	城市轨道交通线网运营系统指标 $x_{ij}$			城市经济发展评价系统指标 $y_{ik}$		
	交通运营线网里程 $x_{11}/\text{km}$	客运量 $x_{12}/(\text{万人次}\cdot\text{年}^{-1})$	场站数 $x_{13}/\text{座}$	地区生产总值 $y_{21}/\text{亿元}$	居民消费支出 $y_{22}/\text{元}$	社会消费品零售总额 $y_{23}/\text{亿元}$
2016	9.2	188.1	9	6 491.54	15 778	3 763.14
2017	24.6	4 930.9	16	7 503.69	26 392	4 193.87
2018	24.6	6 087.6	23	8 516.09	27 427	4 666.46
2019	53.4	10 733.9	46	9 472.30	29 849	5 120.26
2020	58.5	9 475.4	49	10 020.02	32 662	4 225.61
2021	58.5	11 862.0	49	11 324.48	32 019	4 549.41

#### 3.2 评价子系统发展水平

通过式(3)和(4)测算出福州轨道线网运营水平和福州经济发展水平,如图3所示。2016—2021年,福州轨道线网运营水平和经济发展水平都呈现出逐年上升的发展趋势。福州轨道线网运营水平曲线处于福州经济发展水平曲线之上,说明福州轨道线网运营水平上升趋势强于经济发展水平的上

升趋势,福州轨道交通线网运营提升能力更强些。2019年福州轨道线网运营水平指数提升幅度较大,可能主要是由于2019年福州地铁2号线的开通,标志福州地铁从单线运营进入双线运营的线网模式,城市轨道交通线网运营效益得到进一步的提升,轨道交通对城市社会经济的影响十分显著。

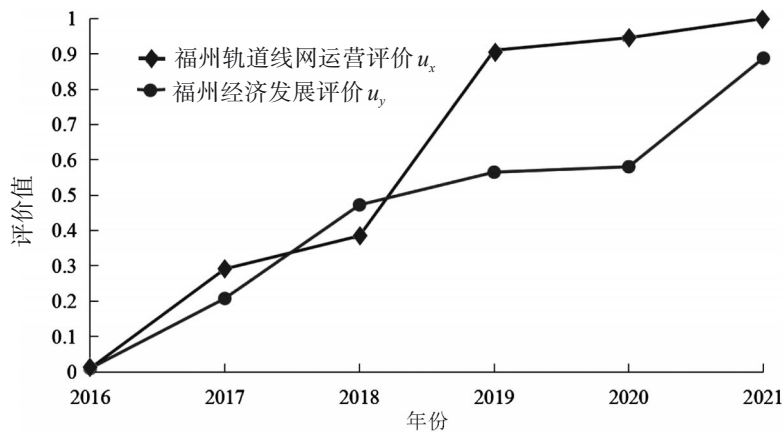


图3 2016—2021年福州轨道线网运营评价和福州经济发展评价

#### 3.3 福州轨道线网运营与福州经济发展的耦合度和耦合协调度

通过式(2)和(5)计算出福州轨道交通线网运营与福州经济发展的耦合度和耦合协调度,结果如表3所示。

根据表3测算结果可知:福州轨道线网运营与福州经济发展耦合度都大于0.970 973 211,说明2016—2021年福州城市轨道交通线网运营与福州经济发展之间具有较高的耦合度,二者相互作用、联动关系较强。较高的耦合度表明福州经济发展对城

表 3 福州轨道交通线网运营与经济协调度测算值

年份	耦合度	耦合协调度
2016	1	0.099 997 500
2017	0.985 873 230	0.496 007 309
2018	0.994 768 841	0.653 085 610
2019	0.972 261 861	0.846 899 489
2020	0.970 973 211	0.860 762 815
2021	0.998 238 087	0.970 685 524

市轨道线网运营水平有影响,而福州轨道交通线网运营情况也对城市经济产生了影响。

耦合度能够反映 2 个系统之间的作用和影响程度,但无法反映子系统各自的发展水平,耦合协调度可以反映 2 个系统间发展中彼此协调一致的程度。由表 3 的耦合协调度值可以看出,福州轨道线网运营与经济发展耦合协调度逐年提高。参照表 1 耦合协调度的等级标准可以确定福州轨道线网运营与经济发展耦合协调度等级:2016 年是极度失调,2017 年是濒临失调,2018 年开始进入初级协调阶段,2019 年进入良好协调阶段,说明福州地铁开通运营的前 3 年,轨道线网运营与经济发展之间处在一个低水平的耦合状态,二者互有影响但是协调发展水平弱,各自发展有待提高。2019 年福州轨道 2 号线开通运营,福州地铁进入线网运营阶段,福州轨道交通线网运营与经济发展处于良好协调互动阶段,2 系统真正实现互相促进、相辅相成的良好协调发展关系。

## 4 结论与发展对策

### 4.1 结论

采用耦合协调度评价模型对 2016—2021 年福州轨道线网运营与福州经济的协调发展进行了实证分析,得出以下结论。

1)自 2016 年开通以来,福州轨道交通运营水平逐年提高,每新开通一条线,轨道交通运营水平提升幅度显著。2016—2021 年,福州经济发展综合能力低于福州轨道交通运营综合能力,但是福州经济依然保持着不断提升的发展趋势。

2)2016—2021 年,福州轨道交通线网运营与福州经济发展之间具有较强的耦合协调关系,二者相互影响、紧密相关。

3)福州轨道交通线网运营能力-经济发展耦合协调度逐年提高,2016—2021 年 6 年间,福州轨道交通线网运营-经济发展耦合协调度从 2016 年的严重

失调的状态转入 2021 年的优质协调阶段,说明二者之间不仅互动联系紧密,互动成效也逐步转好。

### 4.2 发展对策

城市轨道交通与城市经济发展之间相关影响、互相联动。城市经济的快速增长为城市轨道交通的建设和发展提供资金、物资等方面的保障,同时城市经济的进步促进城市社会活动的增加和居民出行量的提高,因此,对城市轨道交通的建设和运营提出了更高的要求。城市轨道交通对城市经济的发展也带来了影响,轨道交通的建设直接带动城市产业的发展,轨道交通的运营作为一种出行方式为城市经济的发展提供了保障。福州城市轨道交通的建设运营与其经济发展保持长期良好可持续性的耦合协调发展关系,具体可从以下几个方面进行实践。

1)科学合理规划 and 建设福州轨道交通线网。目前,福州地铁运营线路只有 2 条线,轨道网络密度仍然较低,轨道交通线网规模辐射能力还不足。因此,轨道交通规划和建设依然还是福州今后城市建设中的重要任务之一。在建设“现代化国际城市”背景下,福州不断推进“单中心”城市向“多中心、组团式、网络化”城市的转变,依据福州轨道交通线网运营、福州经济发展的综合发展指数及 2 系统耦合协调度等指标,积极对照相关政策和规划优化区域和城市交通体系,完善多层次轨道交通体系,不断提升福州城市轨道交通与城市经济的协同发展能力。

2)随着福州轨道交通线网不断完善,2019 年福州轨道交通线网运营与经济发展的耦合协调度已开始进入良好协调阶段,但到目前,福州轨道交通仍然处在初期发展阶段,除了轨道线网规模还不够完善,城市经济发展与资源配置也在逐步优化合理,促进城市轨道与经济的平稳持续协调发展。在以争创国家中心城市、打造福州都市圈为目标的发展背景下,福州不断优化福州一体化城市空间格局,推进五级城镇体系的福州都市圈建设,尤其是大力推动中心城区与滨海新城的融合发展,并不断延伸与闽江口、三江口、闽侯滨江新城、福清湾及罗源湾为主要组团的网络化城市空间,形成以中心城区为核心逐步向外扩散的卫星或组团城市发展模式<sup>[8]</sup>,进一步实现合理的人口分布和产业布局,促进配置经济资源与轨道交通的协同联动发展。

3)注重福州轨道交通与城市经济发展的联动性研究和领域建设。积极开展轨道交通与城市经