

基于互联互通的城际铁路公交化运营评价方法

王晓潮, 任绍坤, 邓连波, 李竞爽, 何 渊

Evaluation method for intercity railway public transportation operation based on interconnectivity

WANG Xiaochao, REN Shaokun, DENG Lianbo, LI Jingshuang, and HE Yuan

引用本文:

王晓潮, 任绍坤, 邓连波, 等. 基于互联互通的城际铁路公交化运营评价方法[J]. 铁路计算机应用, 2025, 34(1): 15–21.

WANG Xiaochao, REN Shaokun, DENG Lianbo, et al. Evaluation method for intercity railway public transportation operation based on interconnectivity[J]. *Railway Computer Application*, 2025, 34(1): 15–21.

在线阅读 View online: <http://tljsjyy.xml-journal.net/2025/11/15>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

海南环岛高铁“公交化”新票制及运营组织模式研究

New public transport oriented ticketing system and operation organization model for Hainan roundabout island high-speed railway
铁路计算机应用. 2024, 33(8): 103–107

基于FTA的城际铁路站台门控制系统风险分析及故障诊断研究

Risk analysis and fault diagnosis of platform door control system for intercity railway based on FTA
铁路计算机应用. 2020, 29(10): 69–73

城际铁路智能乘车码系统

Smart train ride QR code sytem for intercity railway
铁路计算机应用. 2024, 33(2): 81–87

城市轨道交通基于云的信号系统互联互通测试平台设计

Cloud based interconnection and interoperability testing platform of signal system for urban rail transit
铁路计算机应用. 2023, 32(10): 63–67

新一代中铁银通卡在城际铁路的应用研究

Application of new generation of China Railway & Banking Expresspay Card in intercity railway
铁路计算机应用. 2020, 29(2): 44–48

基于子系统划分的铁路枢纽能力利用率评价方法

Evaluation method of railway hub capacity utilization based on subsystem division
铁路计算机应用. 2021, 30(1): 10–14



关注微信公众号, 获得更多资讯信息



基于互联互通的城际铁路公交化运营评价方法

王晓潮¹, 任绍坤², 邓连波², 李竞爽², 何 渊¹

(1. 广州地铁设计研究院股份有限公司 交通规划设计院, 广州 510010;

2. 中南大学 交通运输工程学院 轨道交通大数据湖南省重点实验室, 长沙 410075)

摘 要: 为了在城际铁路公交化改造过程中全面、科学地评价运营方案的公交化程度, 文章基于互联互通视角, 从公交化内涵和构成要素出发, 确立体现公交化特征的技术指标, 并以此为基础构建具有明确取值范围、理想值、评价标准的评价指标, 形成具有多层次结构的城际铁路公交化运营评价指标体系。针对该评价指标体系, 设计了包括基于理想值的指标项标准化量度处理、多层次指标权重计算、公交化运营方案总体评价和公交化瓶颈计算在内的公交化运营评价方法。对粤港澳大湾区内莞惠(东莞-惠州)城际铁路、穗莞深(广州-东莞-深圳)城际铁路构成的城际铁路系统的公交化运营改造方案进行综合评价和对比分析, 结果表明, 当前运营方案所存在的平均客流停站服务比、最大断面满载率及中转时间比例系数这3方面瓶颈在改造方案中均得到显著改善。该评价方法可为其他城际铁路系统的运营评价提供参考。

关键词: 城际铁路; 公交化运营评价; 互联互通; 瓶颈分析; 公交化改造

中图分类号: U239.5 : U293.1 : TP39 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1005-8451.2025.01.02

Evaluation method for intercity railway public transportation operation based on interconnectivity

WANG Xiaochao¹, REN Shaokun², DENG Lianbo², LI Jingshuang², HE Yuan¹

(1. Transportation Planning and Design Institute, Guangzhou Metro Design & Research Institute Co. Ltd., Guangzhou 510010, China; 2. School of Traffic & Transportation Engineering, Hunan Provincial Key Laboratory of Rail Transit Big Data, Central South University, Changsha 410075, China)

Abstract: In order to comprehensively and scientifically evaluate the degree of public transportation in the process of intercity railway public transportation transformation, this paper was based on the perspective of interconnectivity, started from the connotation and constituent elements of public transportation, established technical indicators that reflect the characteristics of public transportation, and based on this, constructed evaluation indicators with clear value ranges, ideal values, and evaluation standards, formed a multi-level structure of intercity railway public transportation operation evaluation index system. Regarding this evaluation index system, the paper designed a public transportation operation evaluation method including standardized measurement processing of indicator items based on ideal values, multi-level indicator weight calculation, overall evaluation of public transportation operation plans, and calculation of public transportation bottlenecks. The comprehensive evaluation and comparative analysis of the transformation plan for the intercity railway system consisting of the Dongguan-Huizhou intercity railway and the Guangzhou-Dongguan-Shenzhen intercity railway in the Guangdong Hong Kong Macao Greater Bay Area indicate that, the bottlenecks in the current operation plan, including the average passenger flow stop to stop service ratio, maximum section full load rate, and transfer time ratio coefficient, have been significantly improved in the renovation plan. This evaluation method can provide reference for the operation evaluation of other intercity railway systems.

Keywords: intercity railway; evaluation of public transportation operation; interconnectivity; bottleneck analysis; public transportation transformation

“公交化”的概念源于城市公共交通, 是指在运输能力超强地区, 以较大的行车密度、较小的单

位运输能力和较少的候车时间实现旅客便捷、快速出行的运输组织模式。铁路客运公交化始于20世纪90年代, 在京津(北京—天津)、沪杭(上海—杭州)、广深(广州—深圳)等繁忙线路, 通过增加车次、简化购票、席位不对号等方式初步实现公交

收稿日期: 2024-06-09

基金项目: 湖南省自然科学基金项目(2023JJ30703); 广州地铁设计研究院股份有限公司科研项目(KY-2021-064)

作者简介: 王晓潮, 高级工程师; 任绍坤, 在读硕士研究生。

化运输模式^[1]。

随着高速铁路和城际铁路陆续投入运营,公交化运营的技术条件更为成熟。冯启富^[2]分析了城际铁路公交化的内涵,从交路计划、行车密度和停站方案多方面构建了京津城际公交化开行方案;Jamili等人^[3]提出客流不确定条件下的市郊铁路列车开行优化模型;Miller^[4]构建了城际间公交化客流需求模型;张涛等人^[5]、郑宁^[6]构建了公交化运营优化模型,分别优化城际铁路高峰时段的列车停站方案、运行图和开行方案;禹丹丹等人^[7]对互联互通运营理念进行分析;杨斌等人^[8]、杨高峰^[9]结合大湾区城际铁路背景对互联互通体系存在的问题和改进途径进行了探讨。

一些研究人员试图分析现行运营方案的优劣,以找出公交化水平的制约因素和提升途径。Isaai等人^[10]通过模糊层次分析法建立列车绩效指标体系;Chen等人^[11]以企业运营成本最小为目标建立整数线性规划模型,对不同停靠策略下线路利用率和客运服务水平进行了研究;张嘉敏等人^[12]对成网条件下沪宁杭城际高铁公交化开行方案进行研究;曲思源等人^[13]采用数据包络法标准模型探讨了城际列车开行方案的技术有效性和整体有效性;陶思宇^[14]、李然^[15]从经济效益角度出发进行运营方案评价。

当前较多研究着眼于从运输组织角度进行公交化改进,在公交化方案评价方面多是从企业的运输能力和运营效益角度构建评价指标,对乘客服务水平和互联互通水平的重视度不足,评价方法多以定性分析为主。本文针对城际铁路公交化运营评价问题,从公交化内涵和构成要素出发确立技术指标,通过各项技术指标取值范围和理想值的分析,基于层次化的评价指标体系设计评价方法,对城际铁路公交化运营状态进行全面、合理评价。

1 城际铁路公交化运营评价内容分析

综合国内外对于公交化概念的探讨^[16],城际铁路公交化,是指立足于城际铁路的技术特性和城际客流出行需求,以实现公交化出行服务为目标,通过线路标准、信号制式、列车编组、售检票系统等

必要的技术设备支持,以及行车组织、客运组织和站车服务等方面的优化设计,实现出行链中购票、候车、乘降等环节的便捷化运营服务和全程旅行速度的提升,提供便捷化、有竞争力的城际铁路出行服务。城际铁路公交化运营模式如图1所示。

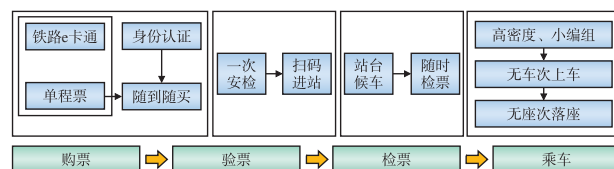


图1 城际铁路公交化运营模式

从城际铁路公交化内涵和运营过程来看,公交化运营水平可从速度、能力、服务和竞争力等方面进行评价。同时,互联互通、多网融合对城际铁路公交化具有促进作用,在评价内容中亦应有所体现。

(1) 速度指标是评估铁路系统运行效率的最重要指标之一。城际铁路的列车间技术速度较为统一,因而快慢车等模式下停站数量对列车旅行速度具有直接影响,停站方案及其影响下的列车旅行速度是公交化运营评价的重要方面。

(2) 公交化方案运营合理性可从线路列车能力利用方面进行评价。满载率反映了列车承载客运量情况,适当的满载率可实现列车席位能力和客流乘坐舒适性的有效均衡。在多交路和开行跨线列车的情况下,各运营区段满载率可反映列车运力与断面客流间的相互协调、乘客乘距与列车运距的匹配程度。

(3) 随到随走的开行频率是公交化服务的基本特征之一,这要求列车行车间隔和乘客候车时间尽可能短并相匹配。通过跨线互联互通压缩换乘次数和中转时间,提供高质量跨线服务,也是公交化评价的重要标准。

(4) 公交化运营的竞争力可从城际走廊中多方式竞争角度进行衡量。乘客综合考虑各交通方式的出行时间、费用等因素进行方式选择,周转量指标可反映城际铁路公交化竞争力的市场选择结果。

2 城际铁路公交化运营评价指标体系

从网络化互联互通背景下城际铁路公交化内涵、构成要素、特点和要求出发,基于速度、能力、服

务质量和竞争力这 4 方面的评价内容建立城际铁路系统公交化运营模式的技术指标，构建如表 1 所示的城际铁路公交化运营评价指标体系。

在评价指标体系中，将速度、能力、服务质量和竞争力作为 I 级指标，依据 I 级指标的评价内容划分成 II 级指标，对 II 级指标的各项评价要素设计

技术指标。这些技术指标从不同角度全面反映公交化运营的各方面特征，但由于各技术指标量纲和取值范围不同，难以直接用于评价。为此，依据各技术指标特征，进一步构建具有明确的取值范围、理想值、评价标准的评价指标，形成基于技术指标的评价指标体系。

表1 城际铁路公交化运营评价指标体系结构

I 级指标	II 级指标	技术指标	评价指标
速度指标A ₁	列车速度A ₁₁	平均旅行速度	旅行速度系数A ₁₁₁
		平均客流停站服务比	平均客流停站服务比A ₁₂₁
	停站服务A ₁₂	最大客流停站服务比	最大客流停站服务比A ₁₂₂
		客流乘车经停比	客流乘车经停比A ₁₂₃
能力指标A ₂	运营能力A ₂₁	列车每日运用公里数	列车运用效率A ₂₁₁
		乘客平均运距	客流乘-运距比A ₂₁₂
		列车平均运距	列车运距系数A ₂₁₃
	线路能力利用率A ₂₂	平均满载率	平均满载率A ₂₂₁
		最大断面满载率	最大断面满载率A ₂₂₂
		交路段最大满载率	交路段最大满载率A ₂₃₁
	交路段能力利用率A ₂₃	交路段平均满载率	交路段平均满载率A ₂₃₂
		乘客平均换乘次数	乘客平均换乘次数A ₃₁₁
服务质量指标A ₃	跨线服务A ₃₁	中转时间比例系数	中转时间比例系数A ₃₁₂
		均匀候车比	均匀候车比A ₃₁₃
		平均行车间隔	平均行车间隔A ₃₂₁
	本线开行频率A ₃₂	分时段最大开行间隔	公交化频率实现程度A ₃₂₂
		城际各方式的出行时间	出行时间轨道交通系数A ₄₁₁
竞争力指标A ₄	城际铁路的时间-价格竞争力A ₄₁	城际各方式的价格	出行价格轨道交通系数A ₄₁₂
		城际各方式的时价比	轨道交通时价比系数A ₄₁₃
		乘客周转量占有率	乘客周转量占有率A ₄₂₁
	乘客周转量A ₄₂		

3 城际铁路公交化运营评价方法设计

针对具有层级化结构特征的评价指标体系，设计基于评价指标项标准化量度和评价指标多层权重的综合评价方法。该评价方法包括基于理想值的指标项标准化量度处理、指标间权重计算、公交化方案总体评价和公交化运营瓶颈计算，评价方法框架如图 2 所示。

3.1 指标项标准化量度处理

评价模型中各指标从不同角度全面反映公交化运营的各方面特征，但由于评价指标量纲、取值范围和评价标准不同，需要结合指标类型、取值空间、理想量度等进行标准化量度处理。评价指标类型和取值空间如表 2 所示。

依据指标类型和取值空间，确定各指标项的理

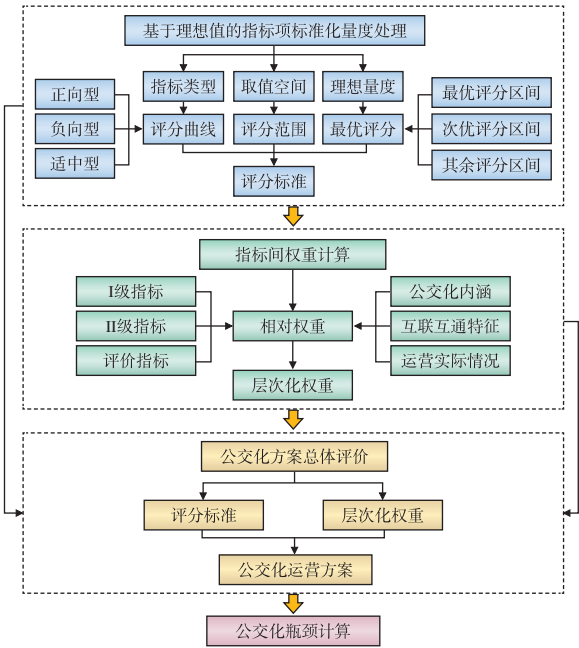


图2 城际铁路公交化运营评价方法框架

表2 城际铁路公交化运营评价指标的类型和取值空间

指标类型	评价指标	取值空间
正向型	A_{111} 、 A_{123} 、 A_{211} 、 A_{212} 、 A_{213} 、 A_{421}	$[0,1]$
适中型	A_{121} 、 A_{122} 、 A_{221} 、 A_{222} 、 A_{231} 、 A_{232}	$[0,1]$
	A_{313}	$[0,+\infty)$
负向型	A_{312}	$[0,1]$
	A_{311}	$[1,+\infty)$
	A_{322} 、 A_{411} 、 A_{412} 、 A_{413}	$[0,+\infty)$
	A_{321}	最小、最大行车间隔之间

想量度值。正向型指标的理想量度值为其极大值，指标值的增大对公交化运营具有正向促进作用；适中型指标则是以一定的理想值作为分界，向两侧偏离理想值程度越大公交化程度越差；负向型指标的理想量度为其极小值，指标值的减小对公交化运营具有正向促进作用。基于指标理想值确定评分区间，建立各评价指标的评分标准如表3所示。

3.2 指标间权重计算

为降低评价指标体系权重构建难度，基于多层次结构逐层构建指标权重。其中，依据Ⅰ级指标评价内容对公交化运营的重要程度确定各Ⅰ级指标的权重，对每一项Ⅰ级指标分别确定所属各Ⅱ级指标

的权重，对每一项Ⅱ级指标确定所属各评价指标权重。以Ⅰ级、Ⅱ级指标为例，标定指标权重如表4所示。

3.3 公交化运营方案总体评价

依据各评价指标取值评分和层次化权重，可对城际铁路公交化运营方案进行综合评价。对某城际铁路公交化运营方案G，若Ⅰ级指标*i*、Ⅱ级指标*j*下的评价指标*k*的权重为 ω_{ijk} ，方案G中该指标评价得分为 A_{ijk}^G ，则方案G的总得分 Z^G 为

$$Z^G = \sum_{i,j,k} \omega_{ijk} A_{ijk}^G, \forall i \in [1,4], j \in [1,3], k \in [1,3] \quad (1)$$

Ⅰ级指标的得分 A_i^G 为

$$A_i^G = \sum_{j,k} \omega_{ijk} A_{ijk}^G, \forall i \in [1,4], j \in [1,3], k \in [1,3] \quad (2)$$

Ⅱ级指标计算方法同理。可由公交化方案总得分和各Ⅰ、Ⅱ级指标得分对城际铁路运营情况具体展开分析。

3.4 公交化运营瓶颈计算分析

在城际铁路公交化运营方案综合评价基础上，针对各指标项得分的负向贡献进行瓶颈分析。对某城际铁路公交化运营方案G，若评价指标得分为 A_{ijk}^G ，

表3 城际铁路公交化运营评价指标评分标准

评价指标	评价分值				
	5	4	3	2	1
A_{111}	$[0.9,1)$	$[0.85,0.9)$	$[0.8,0.85)$	$[0.75,0.8)$	$(0.7,0.75)$
A_{121}	$[0.5,0.6]$	$[0.45,0.5) \cup (0.6,0.65]$	$[0.4,0.45) \cup (0.65,0.7]$	$[0.35,0.4) \cup (0.7,0.75]$	$[0.3,0.35) \cup (0.75,0.8]$
A_{122}	$[0.55,0.65]$	$[0.5,0.55) \cup (0.65,0.7]$	$[0.45,0.5) \cup (0.7,0.75]$	$[0.4,0.45) \cup (0.75,0.8]$	$[0.35,0.4) \cup (0.8,0.85]$
A_{123}	$[0.85,1]$	$[0.7,0.85)$	$[0.55,0.7)$	$[0.4,0.55)$	$(0,0.4)$
A_{211}	$[0.9,1]$	$[0.85,0.9)$	$[0.8,0.85)$	$[0.7,0.8)$	$(0,0.7)$
A_{212}	$[0.8,1)$	$[0.65,0.8)$	$[0.55,0.65)$	$[0.4,0.55)$	$(0,0.4)$
A_{213}	$[0.85,1)$	$[0.7,0.85)$	$[0.55,0.7)$	$[0.4,0.55)$	$(0,0.4)$
A_{221}	$[0.7,0.8]$	$[0.6,0.7) \cup (0.8,0.85]$	$[0.5,0.6) \cup (0.85,0.95]$	$[0.35,0.5) \cup (0.95,1)$	$(0,0.35)$
A_{222}	$[0.75,0.85]$	$[0.65,0.75) \cup (0.85,0.95]$	$[0.55,0.65) \cup (0.95,0.98]$	$[0.45,0.55) \cup (0.98,1)$	$(0,0.45)$
A_{231}	$[0.75,0.85]$	$[0.65,0.75) \cup (0.85,0.95]$	$[0.55,0.65) \cup (0.95,0.98]$	$[0.45,0.55) \cup (0.98,1)$	$(0,0.45)$
A_{232}	$[0.7,0.8]$	$[0.6,0.7) \cup (0.8,0.85]$	$[0.5,0.6) \cup (0.85,0.95]$	$[0.35,0.5) \cup (0.95,1)$	$(0,0.35)$
A_{311}	$(1,1.2]$	$(1.2,1.4]$	$(1.4,1.6]$	$(1.6,1.8]$	$(1.8,+\infty)$
A_{312}	$(0,0.05]$	$(0.05,0.08]$	$(0.08,0.11]$	$(0.11,0.14]$	$(0.14,1)$
A_{313}	$[0.95,1.05]$	$[0.9,0.95) \cup (1.05,1.1]$	$[0.85,0.9) \cup (1.1,1.15]$	$[0.8,0.85) \cup (1.15,1.2]$	$(0,0.8) \cup (1.2,+\infty]$
A_{321}	$(2,6]$	$(6,10]$	$(10,14]$	$(14,20]$	$(20,60)$
A_{322}	$(0,4]$	$(4,7]$	$(7,10]$	$(10,15]$	$(15,+\infty]$
A_{411}	$(0,0.7]$	$(0.7,0.8]$	$(0.8,0.9]$	$(0.9,1]$	$(1,+\infty)$
A_{412}	$(0,0.7]$	$(0.7,0.8]$	$(0.8,0.9]$	$(0.9,1]$	$(1,+\infty)$
A_{413}	$(0,0.8]$	$(0.8,0.9]$	$(0.9,0.95]$	$(0.95,1]$	$(1,+\infty)$
A_{421}	$[0.4,1)$	$[0.3,0.4)$	$[0.2,0.3)$	$[0.1,0.2)$	$(0,0.1)$

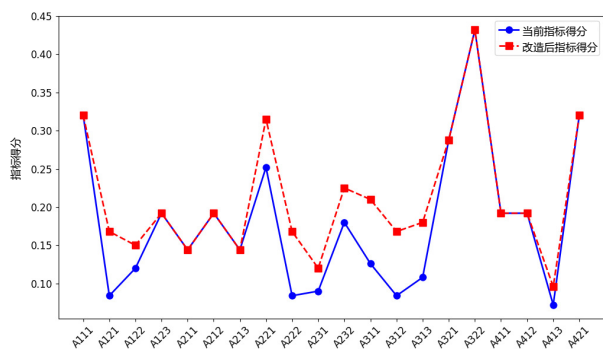


图5 2个方案的评价指标得分对比

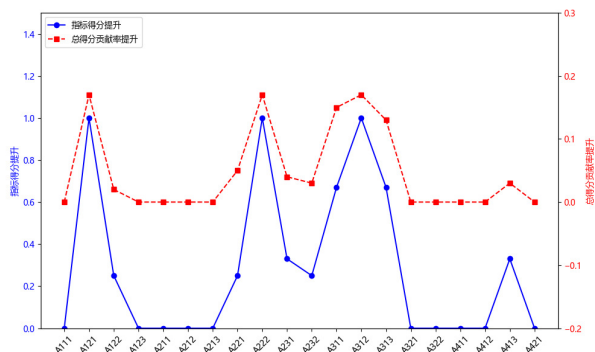


图6 改造方案指标得分提升率

案指标得分提升率如图6所示。可以看出,改造方案除少量指标得分不变外,大部分指标均得到改善,3个瓶颈指标项均有了明显提升。在所有评价指标项中,公交化频率实现程度指标得分最多,列车开行频率与客流分布更为吻合,也更符合公交化运营的要求。而在总得分贡献率提升方面,同样是3个瓶颈指标项提升最多。

对3个瓶颈处的提升做具体分析,在平均客流停站服务比方面,改造方案在大朗镇站至深圳机场站间跨线客流集中区段增开跨线列车,可直接服务“大朗镇站—东莞西站”段和“深圳机场站—东莞西站”段跨线客流的出行,客流停站服务比提升,停站服务质量大幅提高。在最大断面满载率方面,跨线列车在大朗镇站至深圳机场站间开行,有效缓解了“松山湖北—西平西”和“东莞西—长安”这2个客流密集区间列车运力不足的情况,提升了线路能力利用率。在中转时间比例系数方面,乘客乘坐跨线列车,减少了东莞西站换乘客流量和客流总中转时间,城际铁路的跨线服务水平大幅提高。

改造方案各级指标得分构成如图7所示,所有

I级指标中能力指标层面得分最多。在II级指标中,本线开行频率层面得分占比最多,其次是跨线服务层面,通过开行跨线列车优化调整行车交路,改造方案的互联互通和公交化运营改造取得了显著效果。但在城际铁路的时间—价格竞争力方面,轨道交通时价比系数指标得分仍较低,后续可考虑通过大站快车方式提高列车旅行速度或对城际列车票价进行适度下浮,以增强城际铁路与其他交通方式的竞争力。

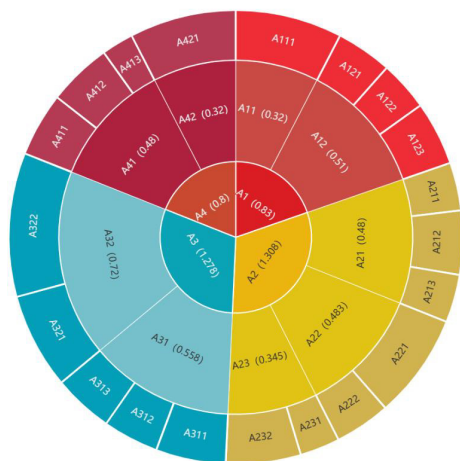


图7 改造方案各级指标得分构成

5 结束语

(1) 针对互联互通背景下的城际铁路公交化运营方案评价问题,从公交化内涵出发,将体现公交化运营特征的速度、能力、服务质量和竞争力这4方面评价内容纳入指标体系,并以技术指标为基础,构建具有明确取值范围、理想值、评价标准的评价指标,构建了城际铁路公交化运营的多层次综合评价指标体系。

(2) 设计基于评价指标项标准化量度和评价指标多层权重的综合评价方法。依据指标类型和取值空间确定各评价指标项的理想量度值,依据理想量度值确定评分标准,基于评分标准和指标权重进行公交化方案总体评价,在此基础上针对各指标项得分的负向贡献进行瓶颈分析。

(3) 对莞惠城际、穗莞深城际构成的城际铁路系统的公交化运营方案改造前后进行对比评价。结果显示,改造方案总体评价结果优于当前运营方案,当前运营方案的平均客流停站服务比、最大断面满

载率和中转时间比例系数这3方面瓶颈均得到显著改善。

本文所构建的指标体系和评价方法可应用于不同的城际铁路系统。同时，可根据实际评价要求进行指标体系框架和指标项调整，评价方法仍然有效。

参考文献

- [1] 徐行方. “公交化”列车的概念及其开行条件[J]. [铁道运输与经济](#), 2000, 22(10): 21-23.
- [2] 冯启富. 关于京津城际轨道交通“公交化”的研究[J]. [铁道经济研究](#), 2006(3): 28-31.
- [3] Jamili A, Aghaee M P. Robust stop-skipping patterns in urban railway operations under traffic alteration situation[J]. [Transportation Research Part C: Emerging Technologies](#), 2015, 61: 63-74.
- [4] Miller E J. Embracing addiction: drug courts and the false promise of judicial interventionism[J]. [Ohio State Law Journal](#), 2004, 65(3): 1479-1576.
- [5] 张涛, 孙鹏举, 曲子贤. 高峰时段城际铁路列车停站方案研究[J]. [铁道运输与经济](#), 2021, 43(2): 7-15.
- [6] 郑宁. 长株潭城际铁路公交化运营列车开行方案研究[D]. 北京: 中国铁道科学研究院, 2022.
- [7] 禹丹丹, 徐会杰, 姚娟娟, 等. 国外都市圈轨道交通互联互通运营对我国的启示[J]. [综合运输](#), 2019, 41(5): 115-120.
- [8] 杨斌, 阳博, 徐旭辉. 粤港澳大湾区城际铁路融合发展策略研究[J]. [铁道标准设计](#), 2023, 67(9): 7-13.
- [9] 杨高峰. 基于互联互通的粤港澳大湾区铁路运营服务优化研究[D]. 北京: 中国铁道科学研究院, 2022.
- [10] Isaai M T, Kanani A, Tootoonchi M, et al. Intelligent timetable evaluation using fuzzy AHP[J]. [Expert Systems with Applications](#), 2011, 38(4): 3718-3723.
- [11] Chen J, Nie L, Fu H L. Comparative analysis of line plans of intercity railway using different train stopping patterns[C]//2018 8th International Conference on Logistics, Informatics and Service Sciences (LISS), 3-6 August, 2018, Toronto, ON, Canada. New York, USA: IEEE, 2018. 1-6.
- [12] 张嘉敏, 张嘉锐. 成网条件下沪宁杭城际高铁公交化开行方案研究[J]. [铁路计算机应用](#), 2018, 27(2): 35-38.
- [13] 曲思源, 徐行方. 基于DEA的城际铁路列车开行方案评价[J]. [华东交通大学学报](#), 2012, 29(1): 79-85, 94.
- [14] 陶思宇. 铁路旅客列车开行方案经济效益评价研究及其计算机实现[D]. 南昌: 华东交通大学, 2006.
- [15] 李然. 基于效益效率综合优化的高速铁路列车开行方案评价与调整研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2020.
- [16] 廖勇. 公交化城际列车开行间隔优化[J]. [铁道学报](#), 2010, 32(1): 8-12.
- [17] 中南大学. 既有城际铁路公交化改造及多网融合关键技术研究与应用项目研究报告[R]. 广州: 广州地铁设计研究院有限公司, 2024.

责任编辑 朱一