文章编号：1674—8247(2024)03—0001—07
DOI:10. 12098/j. issn. 1674－8247. 2024. 03. 001

粤港澳大湾区轨道交通互联互通标准判识研究

谭 彬[1] 刘永欣[2]

（1. 广东省铁路建设投资集团有限公司， 广州 510645；2. 中铁二院工程集团有限责任公司， 成都 610031）

摘 要：互联互通是我国轨道交通一体化融合和高质量发展的现实需求。本文对粤港澳大湾区多层次轨道交通体系进行了梳理，重新诠释了互联互通的概念，对不同层次轨道交通适宜达到的互联互通等级及可行性进行分析，针对是否采用直通跨线运营模式实现互联互通问题进行了研究。结果表明：(1)按照便利程度将互联互通分为直通跨线运营模式、付费区换乘(地铁换乘模式)、非付费区换乘(国铁换乘模式)和有物理隔离(自行换乘模式)4个等级；(2)高速铁路与城市轨道交通宜做好换乘接驳；城际铁路(区域通道型)与高速铁路间，都市圈城际铁路与市域(郊)铁路间宜直通跨线运营；(3)选取技术标准、运输需求、运营条件和经济效益4类评价指标，分析了各指标的评价函数，构建了基于遗传算法的模糊综合评价模型，通过采用遗传算法对指标权重进行优化确定，解决了二元评价指标的权重依赖问题；(4)以大湾区城际铁路为例，对互联互通直通跨线运营的线路进行了实证研究，计算结果与实际工程设计方案一致。

关键词：粤港澳大湾区；轨道交通；互联互通；标准判识；模糊综合评价；遗传算法
中图分类号：U239. 5 **文献标志码**：A

Study on the Standard Identification for Interconnectivity of Rail Transit in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area

TAN Bin[1] LIU Yongxin[2]

（1. Guangdong Provincial Railway Construction Investment Group Co. , Ltd. , Guangzhou 510645 , China；
2. China Railway Eryuan Engineering Group Co. , Ltd. , Chengdu 610031 , China）

Abstract: Interconnectivity is a practical requirement for the integration and high-quality development of rail transit in China. This paper reviewed the multi-level rail transit system in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area, reinterpreting the concept of interconnectivity. It conducted an analysis on the appropriate levels of interconnectivity that should be achieved among different rail transit tiers and their feasibility. Furthermore, it delved into the research question of whether direct cross-line operations should be adopted as a means to achieve interconnectivity. The findings are as follows: (1) Interconnectivity is categorized into four levels based on convenience: direct cross-line operations, fare zone interchange (metro transfer mode), non-fare zone interchange (national railway transfer mode), and physically separated interchange (self-transfer mode). (2) High-speed rail and urban rail transit should focus on seamless transfer connections; intercity railways (regional corridor type) and high-speed railways, as well as metropolitan intercity railways and suburban railways, are suitable for direct cross-line operations. (3) Four categories of evaluation indicators technical standards, transport demand, operational conditions, and economic benefits are selected. The evaluation functions of each

收稿日期：2024-03-29
作者简介：谭彬(1989-)，男，高级经济师。
基金项目：国家铁路局课题研究计划(KF2021-36)
引文格式：谭彬，刘永欣．粤港澳大湾区轨道交通互联互通标准判识研究[J]. 高速铁路技术，2024，15(3)：1－7.
TAN Bin, LIU Yongxin. Study on the Standard Identification for Interconnectivity of Rail Transit in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area[J]. High Speed Railway Technology, 2024, 15(3): 1－7.

indicator are analyzed, and a fuzzy comprehensive evaluation model based on genetic algorithms is constructed. By applying genetic algorithms to optimize the determination of indicator weights, the issue of weight dependence in binary evaluation indicators is addressed. (4) Taking the intercity railways in the Greater Bay Area as an example, a case study on lines implementing direct cross-line operations for interconnectivity is conducted. The computational results align with current actual engineering design plans.

Key words: Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area; rail transit; interconnectivity; standard identification; fuzzy comprehensive evaluation; genetic algorithm

城市群多层次轨道交通互联互通是指在城市群范围内，利用不同层级的轨道交通系统（如干线铁路、区域轨道交通、城市轨道交通等）为城市之间和城市内部的客运提供快速、便捷、高效的服务。轨道交通间实现互联互通是我国轨道交通高质量发展和客运出行的现实需求。《交通强国建设纲要》要求轨道交通发展由追求速度、规模向更加注重质量、效益转变，由各种轨道交通方式相对独立发展向更加注重一体化融合发展转变。

针对轨道交通间互联互通，李松峰[1]基于城市群多层次轨道交通建设发展，从功能定位、客流特征、技术标准、运营组织发展衔接经验，提出了多层次轨道交通换乘衔接、直通运行衔接两种模式，并进一步分析两种模式的优缺点。ZUO[2]等、张梦然[3]均借鉴国外发展经验，针对我国多层次轨道交通发展提出了多层次轨道交通建设的必要性，以及不同层次轨道交通互联互通方向、轨道交通线网规划的建议。胡晓丹[4]强调枢纽节点交通衔接一体化，提出采用铁路局地区客票中心与城市一卡通中心互联互通 + 实名制城市一卡通 + 席位管理 + 集成组网融合通道的多层次轨道交通技术方案。任冲[5]提出将都市圈空间规划布局与市域（郊）铁路线站规划布局结合，优先利用既有铁路资源，布局“环 + 放射”网络形态的市域（郊）铁路，对不同区域采取不同的轨道发展策略。潘昭宇[6-7]等对多层次轨道交通概念、功能及技术标准等进行了系统化梳理，给出了都市圈多层次轨道交通发展的路径、目标和关键措施。刘剑锋[8]围绕长三角城市群多层次轨道交通建设发展，提出多层次轨道交通网应注重不同层次出行需求，实现差异化发展和不同层次轨道网络的高效衔接。肖慎[9]、潘昭宇[10]、卞兆洋[11]强调了多层次轨道交通的内涵在于线网关系协同、运输组织协同、信息开放共享、旅客服务融合以及安全保障协同等，在此基础上研究了不同层次轨道交通的分工。同时借鉴东京都市圈多层次轨道交通发展经验，提出了我国应注重轨道交通走廊建设、补强市域短板、灵活的运营方式、枢纽布局衔接以及技术管理体制协同等方面的研究。杨高峰[12]从粤港澳大湾区多层次轨道交通建设发展现状和问题出发，提出大湾区轨道交通运营服务的主要问题在于线网衔接、客流组织和设施设备信息化等方面，借鉴了国内外发展经验，提出了线网衔接、换乘组织、客票管理、导向标识等方面的优化措施。在运营管理层面，WANG[13]等 针对都市圈内市域（郊）铁路和城市轨道交通等不同层次轨道交通线路的跨线列车，从运营调度角度对其线路通过能力进行了影响分析，DAI[14]等提出采用物联网数据技术分析监测复杂的客流场景，并以此为基础提升多层次轨道交通融合服务水平。

以上研究成果对我国多层次轨道交通发展和融合的必要性给予了充分关注，对不同层次轨道的功能定位、技术标准等进行较多分析，初步提出了换乘和跨线直通运营两种互联互通模式，但对城市群多层次轨道交通互联互通缺乏系统性和深入性的研究，缺乏相关量化识别判断的分析研究，尚未有足够的互联互通实证性研究。目前国内关于互联互通条件的指标选用与临界取值仍不明确，致使我国各地区轨道间是否要互联互通，以及采用何种方式实现互联互通，在规划和建设中都还存在较大争议。

1　大湾区轨道交通互联互通背景

1.1　大湾区多层次轨道网

大湾区作为我国经济的领头羊和创新发展的示范区，轨道交通为其经济发展提供了重要支撑。目前，大湾区已初步建立了由高速铁路、城际铁路、城市轨道交通（含快线）构成的多层次轨道交通网，如表 1 所示。大湾区因经济高度交融和出行频繁，没有真正的市域（郊）铁路，市域（郊）铁路的功能均由城际铁路和城市轨道交通代替。例如：大湾区已运营的穗莞深城际铁路、深圳 11 号线、广州 18 号线、22 号线等，分别具备广州、深圳市域（郊）铁路的功能。

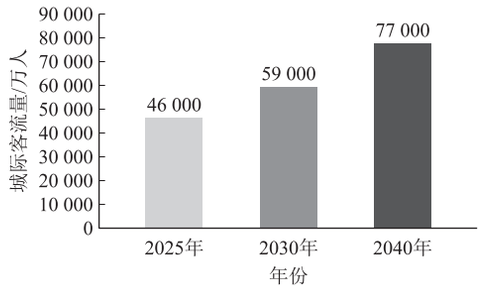
1.2　大湾区轨道交通互联互通需求情况

根据预测，2025 年、2030 年、2040 年大湾区内部出行量分别为 4.6 亿人、5.9 亿人和 7.7 亿人，年均增

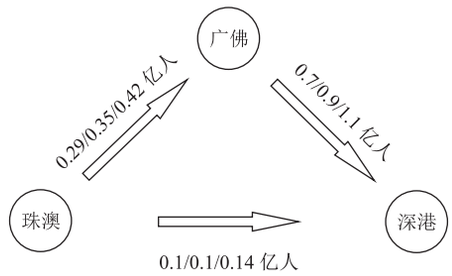
表1　大湾区多层次轨道网统计表

类别	既有	在建	规划	合计
高速铁路	8条 1 067 km	5条 664 km	6条 613 km	19条 2 344 km
城际铁路	6条 456 km	14条 603 km	13条 960 km	33条 2 019 km
城市轨道（含快线）	42条 1 389 km	34条 660 km	3 646 km	5 695 km

长8.1%、5.1%和2.7%，如图1（a）所示。2025年、2030年、2040年广佛、珠澳、深港三核交流量分别为1.1亿人次、1.4亿人次和1.7亿人次（单向），珠东地区占67%，珠西地区占25%，如图1（b）所示，珠港间出行量较小。可以看出：大湾区内部出行需求强烈，亟需一套高效的互联互通协同一体化运输体系，以实现“一张网、一张票、一串城”的目标。



(a) 大湾区核心城市交流量



(b) 大湾区内部出行量

图1　大湾区内部出行增长趋势与交流量图

2　轨道交通互联互通等级标准与层级划分

2.1　互联互通等级标准划分

不同轨道间互联互通的目的是提高可达性、降低时间成本费用和体力消耗，是否需要互联互通、互联互通采用何种方式尚未有相应的标准体系。互联互通内涵丰富、层次多样，可通过站点换乘、双向过轨、单向过轨、联络线过轨等多种形式实现，需根据客流需求、资源共享、工程实施及建设投资等多种因素统筹考虑确定。

根据互联互通的便捷程度，将互联互通分为4个等级标准（如图2所示）：

（1）A级：直通运营，不用换乘的直通跨线运营模式。

（2）B级：票务互通，付费区便捷换乘的只联不通地铁换乘模式。

（3）C级：票务分离，非付费区站厅换乘的只联不通国铁换乘模式。

（4）D级：物理隔离，通道或同站换乘的不联不通自行换乘模式。

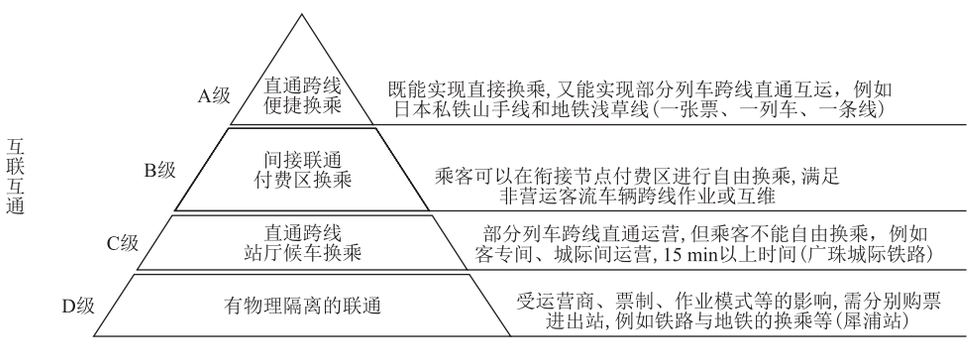
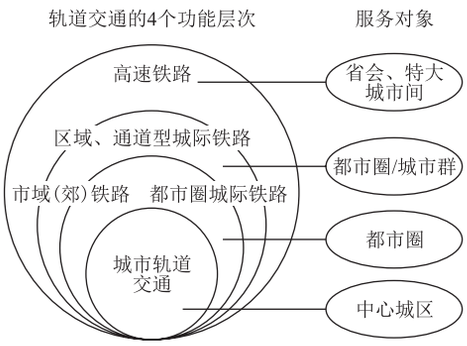


图2　互联互通分级图

2.2　轨道交通层次划分与互联互通可行性分析

为研究多制式轨道交通各层次间适宜的互联互通形式和等级问题，根据轨道制式和服务范围将各种轨道交通类型划分为高速铁路、城际铁路（区域通道型）、都市圈城际铁路/市域（郊）铁路、城市轨道交通4个层次。各层次对应的服务范围和主要技术特性如图3所示。



线网层级	轨道交通构成	设计速度/(km/h)	旅行速度/(km/h)	服务范围/km
高速铁路/城际铁路	高速铁路	250～350	160～280	≥100
	区域通道型城际铁路	160～250	≥120	≥100
都市圈轨道	市域（郊）铁路/高速地铁/都市圈城际铁路	160～200	80～120	60～100
	市域（郊）铁路/地铁快线	100～140	45～80	30～60
	普速地铁	80～100	35～40	≤30

图3　轨道交通层级划分及服务对象图

不同层次轨道交通技术标准差异如表2所示。

表2　不同层次轨道交通主要技术标准表

类别	高速铁路	城际铁路（区域通道型）	都市圈城际铁路/市域（郊）铁路	城市轨道交通
速度范围/(km/h)	250～350	120、160、200	100～160	80～100
正线线间距/m	4.6～5.0	4.0～4.2	3.6～4.0	4.0
最小曲线半径/m	一般 3 200～7 000 困难 2 800～5 500	一般 900～2 200 困难 800～2 000	一般 600～1 400 困难 500～1 300	一般 300～350 困难 250～300
最大坡度/‰	一般20 困难30	一般20 困难	一般25 困难30	一般30 困难35
信号系统	CTCS-2/3	CTCS-0/2	CTCS-2、CBTC	CBTC
供电制式	AC25KV	AC25KV	AC25KV/DC1500 V	DC1500 V
运营主体	国铁集团	国铁集团	自主运营	地铁集团

根据不同制式轨道交通的技术特征和服务功能，分析各层次间互联互通的可行性，可得出：

（1）高速铁路与城市轨道交通技术标准、功能定位差异大，目前无法实现直接跨线运营，宜做好换乘接驳。

（2）城际铁路（区域通道型）与高速铁路技术标准接近，管理主体一致，适宜直通跨线运营。

（3）都市圈城际铁路与市域（郊）铁路技术标准接近，以自主运营为主，适宜直通跨线运营。

3　互联互通（直通跨线运营）模糊综合评价模型

轨道交通采用换乘方式互联互通，其核心为换乘点选择和零换乘衔接方案设计两个方面。本文重点研究采用直通跨线模式实现互联互通的确定方法和标准。

3.1　互联互通（跨线直通运营）评价指标体系构建

一般来看，是否选择直通跨线运营，需从客流需求、技术条件、运输能力、管理体制、经济效益等多个方面进行综合考虑和评价决策。基于此，可以将评价决策指标划分为以下几类：

（1）技术标准类指标：运营线路具有相同的技术标准和系统制式是实现轨道交通跨线直通运营的重要前提，该方面应在规划阶段予以重点考虑。

（2）运输需求类指标：换乘客流需达到一定数量才有必要跨线。

（3）运营条件类指标：当线路的运输能力有一定富余时，才有条件开行跨线列车。

（4）工程投资类指标：需要对跨线工程、工程技术条件、工程投资等多方面进行比选，合理选择跨线运营的工程形式，以保证工程方案的可实施性。

（5）运输效益类指标：主要对运营期内互联互通跨线运营后带来的换乘时间成本的节省、乘客满意度增加以及带来的诱增客流量等与增加的土建工程代价进行权衡，达到综合运营效益最优。

其中，工程投资和运输效益可合并考虑，均可通过互联互通工程的整体经济效益体现。最终得到轨道交通是否采用直通跨线运营实现互联互通的评价指标体系，如表3所示。

表3　轨道交通跨线直通运营评价指标体系表

类别	指标群	评价标准
技术标准类	技术标准	可兼容
运输需求类	跨线客流	充足的客流需求
运营条件类	运输能力	有富裕和保障
经济效益类	工程投资	成本低
	运输效益	综合效益最优

3.2　模糊综合评价模型及算法步骤

根据上述分析可知，可以从技术标准、运输需求、

运营条件、经济效益4个方面来评判两线路间是否采用跨线直通运营来实现互联互通。模糊数学能有效处理受多因素影响的评价问题，由此构建基于模糊数学的互联互通（跨线直通运营）模糊综合评判模型。模型构建步骤如下：

步骤1：确定评价因素集及结果集

结合表3，确定评价因素集 $U=\{u_1, u_2, u_3, u_4\}$，其中，u_1、u_2、u_3 及 u_4 分别对应技术标准类、运输需求类、运营条件类及经济效益类因素。

评价结果为能否实施直通跨线运营实现互联互通，具有二元性，因此引入评价结果集 $V\in[0,1]$ 来表示评价结果，通过 V 的值描述线路a和线路b间采用直通跨线运营实现互联互通的条件成熟度。

步骤2：构建评价矩阵

对于跨线运营项目 i，其评价矩阵 $R_i=\{r_{i1}, r_{i2}, r_{i3}, r_{i4}\}$，其中，$r_{i1}$、$r_{i2}$、$r_{i3}$ 及 r_{i4} 分别为跨线运营项目 i 对应于 u_1、u_2、u_3 及 u_4 下的隶属度。下面将详细讨论线路 i 在不同指标类下的隶属度取值。

（1）技术标准类指标主要包括限界、车辆、供电系统及信号系统等。若对于涉及到跨线运营的线路a和线路b，上述所有技术标准均兼容 $x_i=1$，否则 $x_i=0$。其隶属度 r_{i1} 取值可表示为：

$$r_{i1}=x_i \tag{1}$$

式中：x_i——跨线运营项目 i 的技术标准兼容参数。

（2）运输需求类指标主要为跨线客流需求。根据日本东京地区轨道交通共线运营的经验，跨线客流占比超过50%的线路，宜实施直通跨线运营互联互通。实施直通跨线运营互联互通时，跨线客流量不应少于15 000人次/d。隶属度 r_{i2} 的取值可表示为：

$$r_{i2}=\begin{cases}1 & v_i\geqslant 15\,000\\ 0 & \text{other}\end{cases} \tag{2}$$

式中：v_i——跨线运营项目 i 的跨线客流量（人次/d）。

（3）运营条件类指标主要为线路运输能力。直通跨线运营系统的通过能力取决于共线运营路段的运输能力。记其共线运营段的能力值 $c_i\in[C_1, C_2]$，则隶属度 r_{i3} 的取值为：

$$r_{i3}=\begin{cases}1 & C_2\leqslant c_i\\ (c_i-C_1)/(C_2-C_1) & C_1\leqslant c_i<C_2\\ 0 & c_i<C_1\end{cases} \tag{3}$$

式中：c_i——跨线运营项目 i 的跨线运输能力（对/d）；

C_1——实现跨线运营的最小运输能力上限（对/h）；

C_2——实现跨线运营的最大运输能力下限（对/h）。

（4）经济效益类指标主要包括工程投资和运输效益，两者可合并考虑。参考新建工程项目经济评价，以跨线运营项目 i 运营20年后的经济收入 e_i 作为指标值，若小于运营部门预设值，则 $r_{i4}=0$，否则 $r_{i4}=1$。

步骤3：确定评价指标权重

不同因素在判断是否实施直通跨线运营互联互通中的作用和重要程度不同，需要确定各评价指标类的权重。常见的权重确定方法有主观赋权法、客观赋权法和组合赋权法3类，分别适用于不同的场景。考虑到所构建评价指标的特点，本文采用遗传进化的方法优化各类指标的权重，以期达到相对稳定和客观的目的，指标权重矩阵 A 的具体确定方法如下所示。

步骤4：综合评价值计算

对于跨线运营项目 i，根据评价隶属度矩阵 $R_i=\{r_{i1}, r_{i2}, r_{i3}, r_{i4}\}$ 和指标权重矩阵 $A=\{a_1, a_2, a_3, a_4\}$，可最终计算得到综合评价结果为：

$$V_i=(a_1, a_2, a_3, a_4)\times(r_{i1}, r_{i2}, r_{i3}, r_{i4})^{\mathrm{T}}=A\times R_i^{\mathrm{T}} \tag{4}$$

可以看出，$V_i\in[0,1]$，其值越接近1，表示互联互通的条件越佳，越宜实施直通跨线运营；反之则应放弃该方式。进一步分析4个评价指标类的隶属度函数，r_{i1}、r_{i2} 和 r_{i4} 均为0-1函数，当且仅当 $r_{i1}=r_{i2}=r_{i3}=r_{i4}=1$ 时，评价结果取最大值 $V_i^*=1$。据此对评价结果 V_i 给出以下建议：

（1）当 $3<r_{i1}+r_{i2}+r_{i3}+r_{i4}\leqslant 4$ 时，应判定为该项目宜实施直通跨线运营，此时 $(1-a_3)<V_i\leqslant 1$。

（2）当 $2<r_{i1}+r_{i2}+r_{i3}+r_{i4}\leqslant 3$ 时，该项目是否实施直通跨线运营，应根据评价结果进行具体判定；此时各指标的权重系数将对评价结果起到至关重要的作用。

（3）当 $r_{i1}+r_{i2}+r_{i3}+r_{i4}\leqslant 2$ 时，应判定为该项目放弃实施直通跨线运营。

4　指标权重优化的遗传进化算法

（1）编码。染色体的编码与解码是运用遗传算法求解问题的关键，采用实值编码方式对染色体进行编码，每个权重值均用4位处于0 000至9 999之间的整数表示。

（2）产生初始种群。

（3）确定并计算适应度函数。适应度函数是判断个体优劣的依据，采用贴近度作为种群的适应度函数。对于个体 y_i，其对应的权重为 $t_{i1}, t_{i2}, \cdots, t_m$，根据 y_i 所得的综合决策结果为 b^*，则 y_i 的适应度函数为：

$$f(y_i)=\frac{\sum_{i-1}^{m}(b^*(k)\wedge b(k))}{\sum_{i-1}^{m}(b^*(k)\vee b(k))} \tag{5}$$

式中：b——已知的综合决策结果；

$\wedge$、$\vee$——取小、取大操作；

$b^*(k)$——b^* 的第 k 个分量；

$b(k)$——b 的第 k 个分量。

运用遗传算法确定评价指标的权重矩阵的具体步骤如图 4 所示。

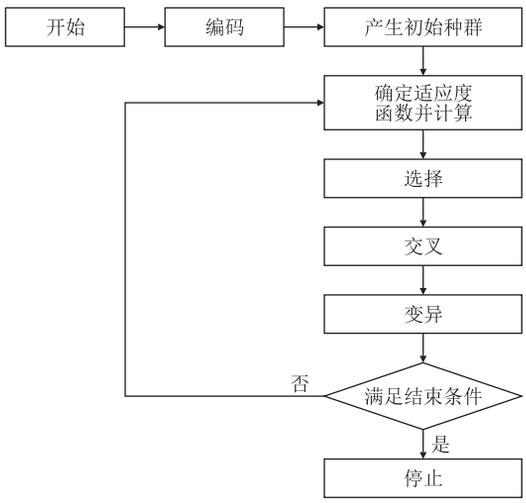


图 4　基于遗传算法的权重确定流程图

5　实例分析

深圳都市圈（深圳、惠州、东莞）已建成轨道交通有莞惠城际铁路、广深城际铁路/铁路和穗莞深城际铁路，在建的有穗莞深城际南延线，已开展工程设计的有深大城际铁路、深惠城际铁路、大鹏支线城际铁路，规划研究的有常龙城际铁路、塘龙城际铁路、中南虎城际铁路和深珠城际铁路。该区域城际铁路网构成如图 5 所示。

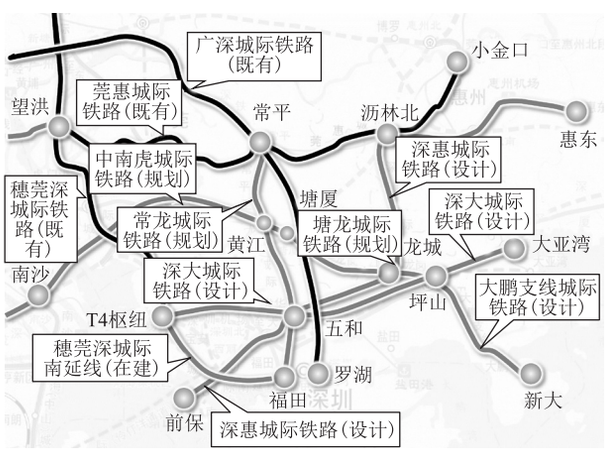


图 5　深圳都市圈城际铁路示意图

选用深圳都市圈正在开展工程设计的深大城际铁路、深惠城际铁路、大鹏支线城际铁路 3 条轨道交通线路为例，运用上述模型方法，对其间是否采用直通跨线运输实现互联互通进行研究论证。

从线路走向和相互衔接关系可以看出，深惠城际铁路和深大城际铁路在五和站相衔接，深大城际铁路和大鹏支线城际铁路在坪山站相衔接，深惠城际铁路和大鹏支线城际铁路在龙城站相衔接。若直通跨线运营，则须在此 3 个车站上进行跨线。本文基于模糊综合评价模型建立跨线运输互联互通综合评判模型，具体参数取值如表 4 所示。

表 4　模型参数取值表

名称	值
V/(人次/d)	15 000
C_1/(对/h)	28
C_2/(对/h)	29
交叉率	0.5
变异率	0.01

根据模型计算结果，最终判定深大城际铁路与深惠城际铁路宜在五和站实施直通跨线运营，深大城际铁路与大鹏支线城际铁路宜在坪山站实施直通跨线运营，深惠城际铁路与大鹏支线城际铁路不宜在龙城站实施直通跨线运营。此计算结果与目前实际工程设计方案相一致，表明研究提出的模型算法在指导工程方案设计方面具有一定的可行性。

6　结论

（1）各种轨道交通间实现互联互通是我国轨道交通高质量发展和客运出行的现实需求，也是各种轨道交通方式一体化融化发展的重要需求。

（2）目前国内关于互联互通条件仍不明确，轨道交通间是否要互联互通、采用何种方式实现互联互通，在规划和建设中还存在较大争议。

（3）粤港澳大湾区已初步建成由高速铁路、城际铁路、市域（郊）铁路、城市轨道交通（含快线）构成的多层次轨道交通网，内部出行需求强烈，亟需一套高效的互联互通协同一体化运输体系。

（4）互联互通可通过站点换乘、双向过轨、单向过轨、联络线过轨等多种形式实现，按照便捷程度，可将互联互通分为直通跨线运营模式、付费区换乘（地铁换乘模式）、非付费区换乘（国铁换乘模式）和有物理隔离（自行换乘模式）4 个等级标准。

（5）根据轨道制式和服务范围可将轨道交通类型划分为高速铁路、城际铁路（区域通道型）、都市圈城际铁路/市域（郊）铁路、城市轨道交通 4 个层次，高速铁路与城市轨道交通宜采用换乘模式；城际铁路

（区域通道型）与高速铁路间、都市圈城际铁路与市域（郊）铁路间可采用直通跨线运营。

（6）可以从技术标准、运输需求、运营条件和经济效益（工程投资、运输效益）4个方面进行综合模糊评价，确定是否采用直通跨线运营实现轨道交通间的互联互通。

（7）针对二元评价指标的权重依赖特性，采用遗传算法对指标权重进行优化确定，可有效解决不同评价主体间的主观差异。

（8）采用基于遗传算法的模糊综合评价模型，对粤港澳大湾区城际铁路互联互通直通跨线运营的线路进行实证研究，模型计算结果与目前实际工程设计方案相一致。

参考文献：

[1] 李松峰．城市群多层次轨道交通衔接模式研究[D]．北京：北京交通大学，2016.
LI Songfeng. Research on the Connection Mode of Multi-level Rail Transit in Urban Agglomeration [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2016.

[2] ZUO Ke, LIU Lan, LU Weike. The Connection Mode between Inter-city Rail Transit and Urban Transportation System in Urban Agglomeration [C]//Ni S, Wu TY, Chang TH, et al. International Conference on Smart Vehicular Technology, Transportation, Communication and Applications. Cham: Springer, 2019 : 11 – 21.

[3] 张梦然．都市圈背景下的多层次轨道交通一体化研究[C]// 济南：智慧城市与轨道交通，2019 : 166 – 171.
ZHANG Mengran. Research on the Integration of Multi-level Rail Transit in the Context of Metropolitan Area [C]// Jinan: Smart City and Rail Transit, 2019 : 166 – 171.

[4] 胡晓丹，杨成和，任冲．成都都市圈铁路公交化品质提升研究[J]．高速铁路技术，2023，(5)：81 – 87.
HU Xiaodan, YANG Chenghe, REN Chong. A Study on Quality Improvement of High-frequency Operation of Railways in Chengdu Metropolitan Area [J]. High Speed Railway Technology, 2023, (5): 81 – 87.

[5] 任冲，胡晓丹．重庆都市圈轨道交通网络化规划——市域（郊）铁路发展战略研究 [J]. 高速铁路技术，2023，(6)：68 – 71.
REN Chong, HU Xiaodan. Rail Transit Network Planning of Chongqing Metropolitan Area—A Study on the Development Strategy of Suburban Railways [J]. High Speed Railway Technology, 2023, (6): 68 – 71.

[6] 潘昭宇，唐怀海，王亚洁，等．加快构建都市圈多层次轨道交通体系[J]．宏观经济管理，2020(11)：33 – 38.
PAN Zhaoyu, TANG Huaihai, WANG Yajie, et al. Speed up to Establish a Multi-tier Rail Transit System in Metropolitan Areas [J]. Macroeconomic Management, 2020(11): 33 – 38.

[7] 潘昭宇．多层次轨道交通规划技术体系研究[J]．铁道标准设计，2022，66(5)：7 – 14.
PAN Zhaoyu. Research on Multi Level Rail Transit Planning Technology System [J]. Railway Standard Design, 2022, 66(5): 7 – 14.

[8] 刘剑锋．多层次轨道交通网络助力长三角一体化发展[J]．中国经贸导刊，2021(16)：13 – 14.
LIU Jianfeng. Multi-level Rail Transit Network Helps the Integrated Development of Yangtze River Delta [J]. China Economic & Trade Herald, 2021(16): 13 – 14.

[9] 肖慎，胡俊豪，吴迪．我国区域多层次轨道交通融合发展研究[J]．现代交通技术，2021，18(4)：82 – 86.
XIAO Shen, HU Junhao, WU Di. Research on the Integration and Development of Multi-level Rail Transit in China [J]. Modern Transportation Technology, 2021, 18(4): 82 – 86.

[10] 潘昭宇．多层次轨道交通规划技术体系研究[J]．铁道标准设计，2022，66(5)：7 – 14.
PAN Zhaoyu. Research on Multi Level Rail Transit Planning Technology System [J]. Railway Standard Design, 2022, 66(5): 7 – 14.

[11] 卞兆洋．构建多层次轨道交通网络的若干关键技术要求探索[J]．现代城市轨道交通，2022(9)：1 – 6.
BIAN Zhaoyang. Exploration on Some Key Technical Requirements for Multi-level Rail Transit Network Construction [J]. Modern Urban Transit, 2022(9): 1 – 6.

[12] 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.
YANG Gaofeng. A Study on the Optimization of Railway Operation Service within the Greater Bay Area Based on Connectivity [D]. Beijing: China Academy of Railway Sciences, 2022.

[13] WANG Ying, LIU Ling, WANG Zhoufan, et al. Study on the Influence of Regional Rail Transit Line Interconnection Operation on Capacity [C]// 2020 IEEE 23rd International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC). Rhodes, Greece. IEEE, 2020 : 1 – 6.

[14] DAI Xin, MA Tianshan, ZHU Wenying. Structure Optimization and Governance of Multilevel Rail Transit Integration under the Background of a Metropolitan Area Based on the Industrial Internet of Things Security Data Fusion Method [J]. Mobile Information Systems, 2022 : 6408817.