

# 基于粤港澳大湾区复杂互联互通场景的 轨道交通计费和清分规则研究

高继宇

(中国铁路设计集团有限公司, 300308, 天津)

**摘要** [目的]在粤港澳大湾区轨道交通线网复杂的互联互通场景下,传统计费和清分规则无法适应。为确保粤港澳大湾区计费和清分结果的精确性,需对该场景下的轨道交通计费和清分规则进行深入研究。[方法]从粤港澳大湾区轨道交通互联互通场景着手,对计费和清分规则的主要影响因素进行分析,认为复杂平行径路的存在是影响计费和清分精确性的关键所在。根据径路识别方式的不同,提出了基于模糊径路识别和精准径路识别的计费和清分规则方案。通过对两种方案的比选分析,提出实施建议。[结果及结论]两个方案均具备较强的可实施性,可选择其一作为主要方向并进一步研究制定详细实施方案。后续可综合运用各种追踪识别技术实现无感标记,从而在不影响换乘效率的条件下精准识别旅客出行径路并进行计费和清分。

**关键词** 粤港澳大湾区; 轨道交通; 计费规则; 清分规则; 互联互通场景

中图分类号 F530.7

DOI:10.16037/j.1007-869x.2024.08.015

## Rail Transit Fare Calculation and Settlement Rules Based on Complex Interoperation Scenarios in Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area

GAO Jiyu

(China Railway Design Corporation, 300308, Tianjin, China)

**Abstract** [Objective] Conventional fare calculation and settlement rules are not suitable for the complex interoperation scenarios of rail transit network in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area (GBA). To ensure the accuracy of fare calculation and settlement results in GBA, it is necessary to conduct in-depth research on rail transit fare calculation and settlement rules in this scenario. [Method] Starting from GBA rail transit interoperation scenarios, the main influencing factors of fare calculation and settlement rules are analyzed. It is believed that the existence of complex parallel routes is a crucial factor influencing the accuracy of fare calculation and settlement. Regarding of different route recognition methods, schemes for fare calculation and settlement rules based on fuzzy

route recognition and precise route recognition are determined, presenting implementation recommendation through comparatively analyzing the two schemes. [Result & Conclusion] Either one of the two schemes can be selected as the primary direction for further research and formulating detailed implementation plan due to their strong applicability. In the future, a variety of tracking and identification technologies can be integrated to achieve seamless tagging, thereby enabling precise identification of passenger travel routes and carrying out fare calculation and settlement without affecting interchange efficiency.

**Key words** Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area; rail transit; fare calculation rules; fare settlement rules; interoperation scenario

2020年7月,《粤港澳大湾区城际铁路建设规划》获得中华人民共和国国家发展和改革委员会批复<sup>[1]</sup>。该规划提出积极支持城市轨道交通企业开展城际铁路运营试点工作。自2020年以来,广东省已经先后自主运营广清、广州东环、佛肇、莞惠等多条城际铁路。未来,粤港澳大湾区(以下简称“湾区”)将着力打造多层次轨道交通网络,为乘客提供一票通达的便捷出行服务。在湾区轨道交通线网复杂的互联互通场景下,传统计费和清分规则无法适应,需结合一票通达目标,设计湾区一体化计费和清分规则,实现全网精准、高效的票务管理。

## 1 湾区轨道交通互联互通场景分析

同一行政区划、同一运营主体及同一系统制式的轨道交通线网通常采用统一的计费和清分规则,可作为一个域。例如,广州、深圳等城市的轨道交通线网有着各自成熟完善的计费和清分规则。根据广东省统筹安排,湾区城际铁路将交由广州地铁和深圳地铁共同运营,并与区域内各城市轨道交通实现互联互通。因此,未来湾区轨道交通票制互通需解决的主要问题是跨行政区划、跨运营主体及跨

系统制式出行的计费和清分,即跨域出行的票务管理问题。

## 2 计费和清分规则影响因素分析

### 2.1 利益主体众多

广东省目前有广州、深圳、佛山、东莞等 4 座城市开通运营城市轨道交通线路,加上广州、深圳两家城际铁路运营主体,使得利益相关方构成复杂。计费和清分规则需确保精确性,以实现各运营主体投入与产出相符,各城市财政投资、补贴责任与收益分配相符。

### 2.2 政策差异显著

城际铁路实行实名制乘车,分线定价,沿线各城市共同承担相应的支出和责任。城市轨道交通实行非实名制乘车,票价标准和优惠政策由所在城市确定并承担支出责任。在一票通达目标下,乘客

出行径路组成复杂,开展计费和清分面临复杂的政策差异,需要合理且精确地计算、核收及分配票款。

### 2.3 平行径路众多

湾区轨道交通线网存在众多平行径路,隶属不同的行政区划、运营主体,采用不同的系统制式。在一票通达目标下,乘客出行径路的选择具有随机性,计费规则需关注票价标准能否与乘客出行径路匹配,清分规则需关注收益分配能否真实反映各方权益。

## 3 计费和清分规则的管理策略

计费和清分规则管理可考虑两种策略,见表 1。若统一制定规则,全网执行一套规则,需设立湾区级票务管理机构负责全面协调;若分级制定规则,乘客跨域出行执行湾区级规则,乘客在域内出行执行各运营主体自主制定的规则,实行分级协调。

表 1 计费和清分规则管理策略比选

Tab.1 Comparison and selection of fare calculation and settlement rule management strategies

项目	统一制定规则	分级制定规则
规则协调	1. 便于乘客理解和认知票务政策; 2. 难以兼顾各城市情况差异,需大规模替换既有规则,执行难度大	1. 对运营主体影响小,执行难度低; 2. 需做好湾区级规则导入,以及与既有规则衔接等工作; 3. 需加强普及和宣传,引导乘客理解和认知政策变化
系统升级	1. 系统仅需支持一套规则和算法; 2. 若要实现精准计费和清分,需在全网大规模开展系统更新	1. 系统需兼容湾区级和域内两套算法,根据购票信息和径路判断出行场景,对系统容量和运算能力提出要求; 2. 仅需实现运营主体间的精准计费和清分,系统改造较少
管理难度	1. 票务政策调整较大,不利于舆情管理; 2. 难以兼顾各运营主体情况差异和个性化需求	1. 需对管理界面做精细划分,且前期准备工作较多; 2. 充分保留各运营主体制定票务政策的自主权

各运营主体已建设或即将建设独立的票务系统,可自行开展域内管理工作,而一体化管理应着眼于协调跨域出行场景下不同运营主体间的计费和清分关系。湾区应按照“湾区统一、域内自主、分级管理”的原则,建立湾区级计费和清分规则,服务跨域出行的计费和清分。

## 4 计费和清分规则的构建思路

### 4.1 基本思路

一体化计费解决乘客跨域出行的票价计算问题,为票款结算、归集及清分奠定基础;一体化清分以计费为前提,计费信息的翔实程度决定了清分规则的选择方向和适用范围。

湾区轨道交通线网存在由城际铁路与城市轨道交通组成的众多平行径路。根据对乘客出行径路识别精度的不同,提出如下两套规则构建思路:

1) 基于模糊径路识别规则的构建。不记录乘

客实际出行径路,根据一定规则计算和归集 OD(起讫点)票价,按权重向 OD 内各条径路分配票款收入。

2) 基于精准径路识别规则的构建。通过技术手段标记乘客出行径路,按分段计费、合并收费原则计算票价,根据计费信息向各条径路分配票款收入。

### 4.2 基于模糊径路识别的计费和清分规则方案

#### 4.2.1 计费规则

根据票价计算方式提出以下计费方案。基于模糊径路识别的计费方案见图 1。

1) 按最短径路计费方案。该方案需建立湾区级票价标准。当乘客跨域出行时,按 OD 间最短径路计算票价。制定湾区级票价标准,需考虑票价调整方向和调整范围等因素。

2) 按加权径路计费方案。借鉴双比例清分算法实践经验<sup>[2]</sup>,通过客流调查等手段,确定 OD 间不

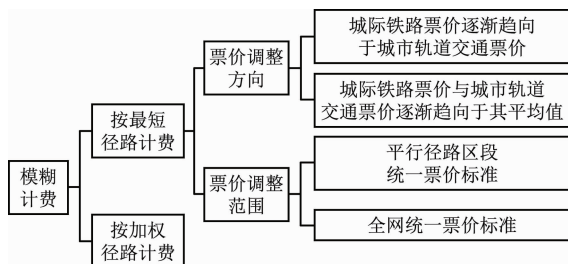


图1 基于模糊径路识别的计费方案

Fig. 1 Fare calculation scheme based on fuzzy route recognition

同径路的旅行时间(包括乘车时间和换乘时间),得出各条径路的初始出行阻抗;根据乘客乘坐距离、换乘次数及乘坐站数等出行影响因素,修正各条径路的出行阻抗,依据多概率模型得到对应的客流分配比例,从而确定权重;分别计算各条径路的全程票价,按照权重进行加权,即可得到 OD 票价  $F_{OD}$ 。

$$F_{OD} = \sum_{i=1}^n \left[ \left( \sum_{j=1}^m F_{OD,i,j} L_{i,j} \right) w_i \right] \quad (1)$$

表2 基于模糊径路识别的计费方案比选

Tab. 2 Comparison and selection of fare calculation schemes based on fuzzy route recognition

项目	按最短径路计费	按加权径路计费
优点	建立湾区票价标准,计费工作较简单	1. 以现行票价标准为基础开展计费,无须大范围调整; 2. 同一线路区段未对应两套票价标准,乘客容易理解和接受
缺点	1. 需建立湾区统一的票价标准,涉及对现行城际铁路和城市轨道交通票价的调整,社会公众反响较大; 2. 某线路区段可能对应两套票价标准,乘客在分段购票(在运营主体内部出行)与一次购票(跨运营主体出行)时的票价不同,难以理解和接受; 3. 按最短径路计费操作简单,但误差较大	1. 计费模型对平行径路选择和权重分配较为敏感,前期需开展大量调查和研究工作; 2. 每次新线投产都需重新调整计费模型,工作量较大; 3. 平行径路选择和权重分配本身存在误差,导致计费模型存在一定误差

#### 4.2.2 清分规则

在分级管理策略下,清分过程包括湾区级清分和运营主体内部清分两步。

1) 湾区级清分。OD 区段第  $i$  条平行径路的票款分配比例  $R_{OD,i}$  按如下方式确定:

$$R_{OD,i} = \frac{\left( \sum_{j=1}^n F_{OD,i,j} L_{i,j} \right) w_i}{F_{OD}} \quad (2)$$

第  $i$  条平行径路第  $j$  条线路区段的票款分配比例  $R_{i,j}$  按如下方式确定:

$$R_{i,j} = \frac{F_{OD,i,j} L_{i,j}}{\sum_{j=1}^n F_{OD,i,j} L_{i,j}} \quad (3)$$

具体过程如下:

式中:

$F_{OD,i,j}$ ——OD 区段第  $i$  条平行径路第  $j$  区段的 OD 票价;

$L_{i,j}$ ——第  $i$  条平行径路第  $j$  区段的长度;

$w_i$ ——OD 区段第  $i$  条平行径路的权重。

湾区轨道交通线网较为复杂,当 OD 跨度较大时,平行径路数量众多,若对其全部考虑将使权重分配更加复杂。乘客并非随机选择出行径路,通常会综合考虑出行时间和便捷性等因素,选择其中一部分作为有效径路<sup>[3]</sup>。对平行径路进行排序,一般宜选择不超过 3 条平行径路作为有效径路,并对其进行权重分配。

3) 方案比选。按最短径路计费时需制定湾区统一的票价标准,实施难度较大,并且面临乘客认知和误差控制等难题。按加权径路计费虽然也存在一定误差,但可以根据客流调查结果予以修正,并且沿用现行票价标准,可实施性较强。基于模糊径路识别的计费方案比选见表 2。

步骤一 票款数据按 OD 归集,形成 OD 待清分数据包。

步骤二 根据 OD 间各条径路的票款分配比例,将票款分解至单一径路,形成待清分数据包。

步骤三 查询径路中不同运营主体的分界车站,根据径路内各线路区段的票款分配比例,将票款分解至不同运营主体。

步骤四 累加运营主体内部各条径路的票款数据,得到该运营主体的清分收益。

2) 运营主体内部清分。运营主体内部清分可执行本级清分规则,具体过程如下:① 根据运营主体本级清分规则,将票款进一步分解至不同线路区段;② 累加同一线路各区段的票款数据,得到该线路的清分结果。

### 4.3 基于精准径路识别的计费和清分规则方案

#### 4.3.1 计费规则

根据基于精准径路识别的计费规则对乘客换乘便捷性的影响,可将其分为有感精准计费和无感精准计费两种方案。基于精准径路识别的计费方案见图 2。

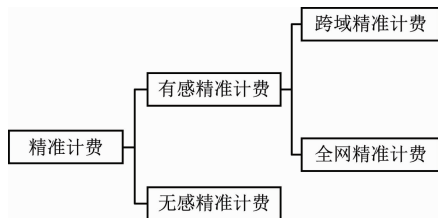


图 2 基于精准径路识别的计费方案

Fig. 2 Fare calculation scheme based on accurate route recognition

##### 4.3.1.1 有感精准计费方案

在换乘站设置标记闸机,会对乘客换乘便捷性产生一定影响。根据分级管理策略,兼顾计费精确性、出行便捷性及管理复杂性,提出以下两套方案。

1) 跨域精准计费。在跨运营主体的换乘站,以及城际铁路与城市轨道交通的换乘站设置标记闸机。

原则 1:跨域出行实行精准计费,域内出行执行既有规则。

原则 2:乘客在域内出行时,执行所属运营主体既有规则。

原则 3:乘客跨域出行时,按换乘标记划分线路区段,各区段按原则 2 计费;汇总各区段计费结果,形成全程票价。

原则 4:乘客跨域出行且缺少部分换乘标记信息时,按邻近两换乘标记间所有可通达径路中票价最低的径路计算票价。

原则 5:邻近两换乘标记为同一车站时,若记录间隔在 30 min 以内,则里程为 0,票价为 0;若记录间隔超过 30 min,按本站进出站最低票价计费。

2) 全网精准计费。在全网换乘站设置标记闸机,将出行径路划分为不同区段,分别根据票价标准和里程计算票价,对其汇总后进行加和形成全程票价。特殊情况处理原则同跨域精准计费中的原则 4 和原则 5。

##### 4.3.1.2 无感精准计费方案

在乘客无须(或非常少量)主动配合的情况下,通过各种技术手段记录乘客出行径路信息。潜在可行的主要技术手段包括智能设备定位、WLAN、蓝牙嗅探、手机信令数据、智能识别、双频芯片、远程 NFC(近距离无线通信技术)及生物特征识别技术等。根据标记信息,将出行径路划分为不同区段,分别按照票价标准和里程计算票价,对其汇总后进行加和形成全程票价。

##### 4.3.1.3 方案比选

基于精准径路识别的计费方案比选见表 3。

表 3 基于精准径路识别的计费方案比选

Tab. 3 Comparison and selection of fare calculation scheme based on accurate route recognition

比选因素	有感精准计费	无感精准计费
乘客换乘便捷性	1. 乘客通过标记闸机,对换乘效率有一定影响; 2. 增设标记闸机工程量较大,可能对车站旅客流线产生一定影响	1. 乘客无须通过标记闸机,对换乘效率无影响; 2. 对车站旅客流线影响小
技术手段成熟性	技术成熟,准确率高	技术尚不成熟,对使用环境、设备状态、软硬件开发及乘客配合有一定要求,需进行技术验证
法律与道德风险	不涉及乘客隐私,不存在法律与道德风险	1. 涉及乘客隐私,需规避法律和道德风险; 2. 需得到乘客授权才能获取信息,普及率难以保障; 3. 信息存储和使用存在泄漏和滥用风险
票务管理复杂性	票务管理较为简单	1. 需引导乘客录入相关信息、下载 APP 或更换票卡,工作量较大,周期较长; 2. 需引导乘客进行授权
设备改造经济性	需增设标记闸机,从而产生一定的工程量和投资	需采用相关技术手段进行软硬件开发和布设

基于精准径路识别的计费方案比选见表 3。有感精准计费技术手段较为成熟,按照分级管理策

略,仅需在跨域换乘站设置标记闸机,工程量和投资总体可控,通过加强客流组织可以降低对乘客换

乘便捷性的影响,通过建立应急预案可以应对突发大客流风险。无感精准计费虽然有利于提高乘客换乘效率,但技术手段尚不成熟,并且需要论证法律与道德方面存在的潜在风险,目前暂不具备可实施性。

#### 4.3.2 清分规则

采用精准计费模式时,乘客出行径路等关键信息均被记录,票款按照计费径路归集并可精确分解至各运营主体。

1) 湾区级清分。具体过程如下:

步骤一 票款数据按径路归集,形成单一径路的待清分数据包。

步骤二 查询径路中不同运营主体的分界站,将票款分解至不同运营主体。

步骤三 累加运营主体内部各径路的票款数据,得到该运营主体的清分收益。

2) 运营主体内部清分。采用运营主体内部清分时,可执行本级清分规则,具体过程如下:

步骤一 根据运营主体本级清分规则,将票款进一步分解至不同线路区段。

步骤二 累加同一线路各区段的票款数据,得到该线路的清分结果。

#### 4.4 方案实施建议

综上,基于当前技术发展水平和湾区轨道交通票务管理的需求,在难以精准识别旅客出行径路的情况下按加权径路进行计费和清分,或通过在跨域换乘站设置标记闸机精准识别旅客出行径路,从而进行计费和清分。两个方案具备较强的可实施性,可选择其一作为主要方向进一步研究制定详细实施方案。未来,随着技术发展成熟,可综合运用各种追踪识别技术实现无感标记,从而在不影响换乘效率的情况下精准识别旅客出行径路并进行计费和清分。

### 5 结语

湾区作为试点正在大力推动轨道交通四网融合发展,票制互通是其中的重要方面,目标是为乘客提供一票通达的便捷服务,即乘客只需一次购票即可实现跨行政区划、跨运营主体及跨系统制式出行。但同时随着轨道交通线网规模的持续扩大,乘

客出行面临更加复杂的平行径路,由于选择具有一定随机性,为精准计费和清分带来挑战。湾区在全国范围内率先实现了城际铁路自主运营,并且正在推进城际铁路与城市轨道交通一体化运营。在此过程中,湾区所面临的问题,未来其他城市群和都市圈也将遇到。本文基于湾区轨道交通复杂的互联互通场景,围绕乘客出行径路识别这一核心问题,研究提出了两套轨道交通计费和清分规则体系,以期为推动区域轨道交通票制互通提供参考。

### 参考文献

- [1] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 国家发展改革委关于粤港澳大湾区城际铁路建设规划的批复:发改基础[2020]1238号[EB/OL]. (2020-07-30)[2020-08-03]. [https://www.ndrc.gov.cn/xwdt/tzgg/202008/t20200804\\_1235524.html](https://www.ndrc.gov.cn/xwdt/tzgg/202008/t20200804_1235524.html). National Development and Reform Commission of the People's Republic of China. Response of National Development and Reform Commission on the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area Intercity Railway Construction and Planning: FGJC [2020] No. 1238 [EB/OL]. (2020-07-30)[2020-08-03]. [https://www.ndrc.gov.cn/xwdt/tzgg/202008/t20200804\\_1235524.html](https://www.ndrc.gov.cn/xwdt/tzgg/202008/t20200804_1235524.html).
- [2] 广州市地下铁道总公司 AFC 研发中心. 广州轨道交通线网票务清分方法应用研究[C]//第四届城市轨道交通自动售检票(AFC)系统技术应用研讨会暨 AFC 专业产品展示会论文集. 广州:北京万卡信息咨询中心,2007:15. AFC R&D Center of Guangzhou Metro Group Co., Ltd. Application research of fare distribution method in Guangzhou rail transit network[C]//Proceedings of the 4th Urban Rail Transit Automatic Fare Collection (AFC) System Technology Application Seminar and AFC Professional Product Exhibition. Guangzhou: Beijing Wanka Information Consulting Center, 2007:15.
- [3] 陈博轩. 城市轨道交通票务收益精确清分模型的研究与应用[J]. 城市轨道交通研究,2020,23(3):31. CHEN Boxuan. Study and application of accurate clearing model of urban rail transit ticket revenue[J]. Urban Mass Transit, 2020, 23(3):31.

· 收稿日期:2022-04-24 修回日期:2022-05-18 出版日期:2024-08-10  
Received:2022-04-24 Revised:2022-05-18 Published:2024-08-10  
· 作者:高继宇,高级工程师,460210270@qq.com  
· ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议  
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license