

城市轨道交通换乘站客流匹配评估指标研究*

樊茜琪^{1,2}

(1. 同济大学铁道与城市轨道交通研究院, 201804, 上海;

2. 上海轨道交通检测认证(集团)有限公司, 201804, 上海//博士研究生)

摘要 基于城市轨道交通网络化运营背景下的网络客流需求及换乘特征,通过对换乘站运力协调匹配影响因素的分析,引入进站断面满载率、换乘满载率、离站断面满载率等指标,建立了换乘站线路间运力协调匹配评估指标,以评估换乘站客流匹配情况;同时建立了城市轨道交通线网所有换乘站运力协调的综合匹配评估指标。通过计算重庆和成都两个城市典型换乘站运力协调匹配评估指标,并与现场调研情况进行对比,认为所建立的评估指标可基本反映换乘站的运力综合协调匹配情况。

关键词 城市轨道交通;换乘站;运力运量匹配;换乘满载率不均衡系数

中图分类号 U231+.4

DOI:10.16037/j.1007-869x.2022.07.029

Research on Evaluation Index of Passenger Flow Matching in Urban Rail Transit Transfer Station

FAN Qianqi

Abstract Based on the network passenger flow demand and transfer characteristics of urban rail transit network operation, through analysis of influencing factors on transfer station capacity coordination and matching, the index including inbound section load factor, transfer load factor, outbound section load factor are introduced, and evaluation index of line capacity coordination and matching in transfer station is established to evaluate passenger flow matching situation. At the same time, the comprehensive matching evaluation index of all transfer stations in the whole rail transit network is established. Through the comparison between the calculation examples of the above indicators and the on-site passenger flow situation of typical transfer stations in Chongqing and Chengdu, the index can basically reflect the passenger flow comprehensive coordination and matching situation of transfer stations.

Key words urban rail transit; transfer station; passenger flow capacity matching; imbalanced coefficient of transfer load

factor

Author's address Tongji University Institute of Rail Transit, 201804, Shanghai, China

近年来,我国城市轨道交通迅猛发展,越来越多的城市轨道交通进入网络化运营阶段^[1]。换乘站是城市轨道交通网络中的重要节点,也是影响网络运营协调性的重要因素。交通运输部发布的交运〔2019〕84号《城市轨道交通运营期间安全评估规范》^[2]要求重点关注网络化运营的情况。该规范的第6条提出:网络化运营安全评估包括线网控制中心功能评估、线网应急能力评估、换乘站客流匹配评估。该规范的第9条明确规定应实施换乘站客流匹配评估,测算线路实际运行能力与客流的匹配情况,并结合各线路高峰小时断面客流量、列车满载率等指标,分析判断线网内是否存在运力协调不匹配的换乘站,以及运能、运量的变化对网络整体可靠性的影响。

但行业内针对换乘站客流匹配评估尚无统一的方法,因此,亟需探索可反映换乘站客流匹配性的指标,并基于网络客流需求和换乘特性建立换乘站运力协调匹配评估指标,以适应网络化运营背景下的精细化管理。

为此,本文对换乘站的客流匹配评估研究侧重于换乘站的运力协调匹配,拟通过对换乘站客流匹配性的影响因素进行分析,建立适用的协调匹配评估指标,并通过典型城市的指标实例计算来验证评估指标的有效性。

1 换乘站客流影响因素分析

1.1 网络客流需求

从供需角度看,换乘站客流匹配情况主要由供

* 国家重点研发计划课题(2020YFB1600704)

给量(即线路的运输能力,以下简称“运力”)和需求量(即线路的客流量,以下简称“运量”)决定的,而运力和运量均是随时间和空间两个维度变化的变量。在时间维度上,本文主要关注运力、运量变化对换乘站客流匹配性的影响,仅针对线网运营的早高峰时段(工作日的 8:00—9:00)这一特定时段进行研究;在空间维度上,本文重点讨论运力、运量对换乘站客流匹配情况的影响。

对于某一线路的特定运营时段,可用满载率来衡量线路实际运行能力与客流的匹配情况^[4]。但是,对于某一换乘站的客流匹配情况,则需要结合空间上各换乘线路不同断面的满载率情况来综合判断,所以换乘站各线路的运力差异、运量差异均会影响换乘站的客流匹配。此外,网络化运营的换乘总体匹配情况则还需结合整个网络各线路高峰小时最大断面的空间分布情况来综合评估。

1.1.1 运力分析

由于不同线路运量不一,其运输能力的利用程度不等,在客观上各线路存在一定的运力差异。其运力差异主要体现为各线路列车的车型和编组不同,以及行车间隔的不同等^[4]。如重庆市轨道交通线网中,部分线路有 4 节编组、6 节编组混跑或 6 节编组、8 节编组混跑的情况,其车型还包括了 6 节编组的 As 型车(以下简称“6As”)和 6 节编组的 B 型

车(以下简称“6B”)两种。

本文定义运力均值为同一时段不同线路运输能力的平均值。令运力差异率 = [运力最大值 - 运力最小值)/运力均值] × 100%。

表 1 为重庆市轨道交通线网 2019 年某个早高峰各换乘站运力差异率的计算结果。其中:冉家坝站、红土地站、大龙山站和上新街站等换乘站虽然不同线路的列车均为 6 As 型车,但由于行车间隔不同,这些换乘站运力差异率的最大值达到 78%,最小值仅为 35%;两路口站、红旗河沟站、重庆北站南广场站、牛角沱站、小什字站、大坪站和四公里站等换乘站不同线路列车的车型、编组、行车间隔均不相同,其运力差异率最大值为 77%,最小值仅为 2%。

如表 1 所示,在运力差异率大于 70% 的换乘站中,仅有部分换乘站明显存在换乘站客流不匹配的表现(如站台拥挤、二次候车等)。而对于运力差异率低于 70% 的车站,如上新街站虽然运力差异率仅为 35%,但因该站的换乘客流需求存在差异,也会导致站内存在客流拥挤等客流不匹配现象。

因此,换乘站各线路运力差异,只是影响换乘站客流匹配情况的一个影响因素,还需考虑换乘站各线路运量需求的差异,这样才能真实反映换乘站的客流匹配情况。

表 1 重庆市轨道交通 2019 年某个早高峰各换乘站运力表

Tab.1 Transport capacity of Chongqing rail transit transfer stations at certain morning peak hour in 2019

换乘站	换乘线路 1			换乘线路 2			换乘线路 2			运力差异率/%
	线路号	车型	高峰小时运力/(万人次/h)	线路号	车型	高峰小时运力/(万人次/h)	线路号	车型	高峰小时运力/(万人次/h)	
两路口站	1 号线	6B	2.96	3 号线	6/8 单轨	2.57				13
红旗河沟站	3 号线	6/8 单轨	2.57	6 号线	6As	2.63				2
冉家坝站	5 号线	6As	1.31	6 号线	6As	2.63	环线	6As	1.84	68
重庆北站南广场站	3 号线	6/8 单轨	2.57	环线	6As	1.84	10 号线	6As	1.15	77
牛角沱站	2 号线	4/6 单轨	1.62	3 号线	6/8 单轨	2.57				45
小什字站	1 号线	6B	2.94	6 号线	6As	2.63				11
大坪站	1 号线	6B	2.94	2 号线	4/6 单轨	1.62				58
大龙山站	5 号线	6As	1.31	6 号线	6As	2.63				67
上新街站	6 号线	6As	2.63	环线	6As	1.84				35
四公里站	3 号线	6/8 单轨	2.57	环线	6As	1.84				33
红土地站	6 号线	6As	2.63	10 号线	6As	1.15				78

注:6/8 单轨是指 6 节和 8 节编组的跨坐式单轨列车在线路上混跑。4/6 单轨的含义类同。

1.1.2 运量分析

基于运量需求的线路实际运行能力(运输能力)与客流匹配情况的衡量指标为断面满载率。对于某一线路的单向单断面,该指标可以很好地反映运力与运量的匹配情况;但对于换乘站,该指标反映的是车站上下客后的终了状态,未能体现换乘客流的过程状态。此外,不同线路的不同方向均存在到站断面满载率(列车进站前的断面的满载率)和离站断面满载率(列车离站后的断面的满载率)两个指标,对于换乘站而言,到站断面满载率反映的客流匹配状态将直接影响离站断面满载率反映的客流匹配状态。

引入现有的线路断面满载率不均衡系数来计算换乘站的各断面满载率不均衡系数指标,令断面满载率不均衡系数 = $[(\text{最大断面满载率}-\text{最小断面满载率})/\text{各断面满载率均值}] \times 100\%$ 。仍以重庆市轨道交通为例,表 2 为大坪站、较场口站两个换乘站 2019 年某个早高峰时段的不同方向的断面满载率。经计算可得到,大坪站的断面满载率均值为 63%,断面满载率不均衡系数为 109%;较场口站的断面满载率均值为 40%,断面满载率不均衡系数为 80%。

表 2 大坪站和较场口站 2019 年某个早高峰断面满载率
Tab.2 Section full load rate of Daping Station and Jiaochangkou Station at certain morning peak hour in 2019

换乘站	线路	区间	上行断面 满载率/%	下行断面 满载率/%
大坪站	1 号线	石油路站—大坪站	101	56
	1 号线	大坪站—鹅岭站	100	54
	2 号线	袁家岗站—大坪站	94	46
	2 号线	大坪站—佛图关站	68	27
	1 号线	七星岗站—较场口站	60	28
较场口站	1 号线	较场口站—小什字站	43	28
	2 号线	临江门站—较场口站	50	30

虽然较场口站的断面满载率不均衡系数为 80%,但由于较场口站客流需求较小,该指标忽略了线路断面满载率的绝对值(运量需求),因而不能体现真实的客流匹配情况。大坪站运力差异率仅为 58%,断面满载率不均衡系数为 109%,该指标由于忽略了线路上下行客流的潮汐性,也不能体现该站真实的客流匹配情况。因此,运量需求的绝对值和

换乘客流潮汐特性均会影响换乘站的客流匹配情况。

1.2 换乘特性分析

换乘站的乘降客流包括换乘客流和进出站客流两部分,因此换乘站的断面客流包括换乘客流、进出站客流和通过客流 3 个部分。其中:通过客流在到站断面满载率和离站断面满载率中的占比保持不变,动态变化的是换乘站的乘降客流(进出站客流、换乘客流)。列车进站的客流行为过程与对应的列车满载率如表 3 所示。

表 3 换乘站列车进站行为与列车满载率的对应关系
Tab.3 Corresponding relation between train entry behavior and full load rate at transfer station

行为过程	满载率
列车到站	到站断面满载率 P_a
进出站乘客上下车	进出站满载率 P_o
换乘客客上下车	换乘满载率 P_i
列车离站	离站断面满载率 P_l

从表 3 可看出,到站断面满载率和离站断面满载率的差值即为进出站满载率和换乘满载率的变化,其中,换乘满载率 = $[(\text{换入客流}-\text{换出客流})/(\text{线路运力})] \times 100\%$;进出站满载率 = $[(\text{进站客流}-\text{出站客流})/(\text{线路运力})] \times 100\%$ 。

典型的通道换乘站换乘示意图如图 1 所示。换乘站任一线路任一方向的满载率存在以下关系:A 线离站断面满载率 = A 线到站断面满载率 + A 线进出站满载率 + A 线换乘满载率。

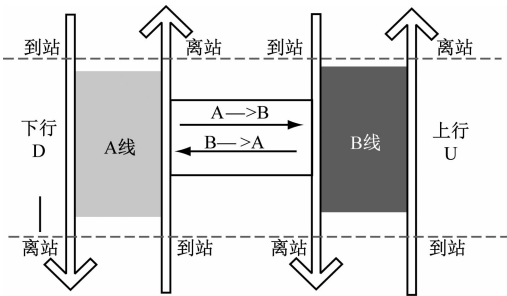


图 1 典型通道换乘站换乘示意图
Fig. 1 Schematic diagram of typical passage transfer station interchange

换乘满载率中,A 线换乘客流等于 A 线换入客流减去 A 线换出客流。对于任一多线换乘站,设 i 为换乘站涉及的换乘线路号,则各线路的换入客流 $Q_{i, \text{换入}}$ 之和等于各线路的换出客流 $Q_{i, \text{换出}}$ 之和,即:

$$\sum Q_{i, \text{换入}} = \sum Q_{i, \text{换出}} \tag{1}$$

由式(1)可知,对 A 线、B 线两线换乘站而言,
 $Q_{A, \text{换出}} = Q_{B, \text{换入}}$,因此换乘站任一线路,存在以下
关系:

$$\begin{cases} P_{A,a} + P_{A,o} + \frac{Q_{A, \text{换入}} - Q_{B, \text{换入}}}{q_A} \times 100\% = P_{A,l} \\ P_{B,a} + P_{B,o} + \frac{Q_{B, \text{换入}} - Q_{A, \text{换入}}}{q_B} \times 100\% = P_{B,l} \end{cases} \tag{2}$$

式中:
 $P_{A,a}$ 、 $P_{B,a}$ ——分别为 A 线、B 线的到站断面满
载率;
 $P_{A,o}$ 、 $P_{B,o}$ ——分别为 A 线、B 线的进出站满
载率;
 $P_{A,l}$ 、 $P_{B,l}$ ——分别为 A 线、B 线的离站断面满
载率;
 q_A 、 q_B ——分别为 A 线、B 线的线路运力。
从式(2)可看出,影响换乘站满载率协调的动

态因素为 P_o 和 P_l ,而影响换乘满载率的动态因素
为各线路的换入客流。因此,引入换入满载率指标
 P_r ,则线路 i 的换入满载率 $P_{r,i}$ 为:

$$P_{r,i} = \frac{Q_{i, \text{换入}}}{q_i} \times 100\% \tag{3}$$

式中:
 q_i ——线路 i 对应时段的运力。
重庆市轨道交通 2019 年各换乘站某个早高峰
的换入满载率计算结果见表 4。此外,客流的潮汐
特性影响了某一线路客流断面的方向不均衡性,需
考虑建立上下行方向的不均衡系数,用以对换入满
载率进行修正。
由网络客流需求分析可知,影响换乘站客流协
调关系绝对值的为 P_a 或 P_l 的绝对值。因此,本文
评估换乘站的客流协调匹配情况时,取 P_l 绝对值进
行综合评估。

表 4 重庆市轨道交通 2019 年各换乘站某个早高峰的换入满载率
Tab.4 Full load rate of inbound passenger flow of Chongqing rail transit transfer stations at certain morning peak hour
in 2019

换乘站	换乘线路 1		换乘线路 2		换乘线路 3	
	线路号	换入满载率/%	线路号	换入满载率/%	线路号	换入满载率/%
两路口站	1 号线	39	3 号线	48		
红旗河沟站	3 号线	45	6 号线	48		
冉家坝站	5 号线	24	6 号线	30	环线	38
重庆北站南广场站	3 号线	23	环线	26	10 号线	47
牛角沱站	2 号线	41	3 号线	32		
小什字站	1 号线	21	6 号线	19		
大坪站	1 号线	16	2 号线	25		
大龙山站	5 号线	28	6 号线	16		
上新街站	6 号线	22	环线	7		
四公里站	3 号线	11	环线	16		
红土地站	6 号线	10	10 号线	23		

2 评价指标建立

2.1 指标建立

本文用 P_r 来定量分析换乘站任一线路换乘客
流与该线路本身运力的匹配关系;采用上下行方向
的不均衡系数来修正各线路的换入满载率,形成换
入满载率 $P_{r, \text{修}}$;用换乘站不同线路修正后的换入满
载率差异值(换乘满载率不均衡系数)来定量分析
不同线路在该换乘站表现出的换乘匹配情况;再结

合离站断面满载率 P_l 的绝对值综合评估该换乘站
的换乘客流匹配情况。

2.1.1 方向不均衡系数

在城市轨道交通换乘数据中,目前换乘客流数
据为换入整条线路的客流而非区分上下行方向的
换乘客流,但 $P_{r,i}$ 存在如下关系:

$$P_{r,i} = P_{U,r,i} + P_{D,r,i} \tag{4}$$

式中:
 $P_{U,r,i}$ ——换乘站线路 i 上行方向的换入满

载率;
 $P_{D,r,i}$ ——换乘站线路 i 下行方向的换入满载率。

设换乘站线路 i 的方向不均衡系数为 K_i , 则有:

$$K_i = \frac{2\max(P_{U,i,a}, P_{D,i,a}, P_{U,i,l}, P_{D,i,l})}{P_{U,i,x} + P_{D,i,x}} \quad (5)$$

式中:
 $P_{U,i,a}$ ——换乘站线路 i 上行方向的到站断面满载率;
 $P_{D,i,a}$ ——换乘站线路 i 下行方向的到站断面满载率;

$P_{U,i,l}$ ——换乘站线路 i 上行方向的离站断面满载率;

$P_{D,i,l}$ ——换乘站线路 i 下行方向的离站断面满载率;

$P_{U,i,x}$ ——换乘站线路 i 上行方向的到站断面满载率或离站断面满载率;

$P_{D,i,x}$ ——换乘站线路 i 下行方向的到站断面满载率或离站断面满载率。

即若分子最大值为 $P_{U,i,a}$ 或 $P_{D,i,a}$, 则分母为 $P_{U,i,a} + P_{D,i,a}$, 反之则为 $P_{U,i,l} + P_{D,i,l}$ 。

2.1.2 换乘满载率不均衡系数

任一线路 i 修正后的换入满载率 $P_{i,r,修}$ 为:

$$P_{i,r,修} = P_{r,i} K_i \quad (6)$$

设 n 为换乘站的换乘线路数。对换乘站 u , 其换乘满载率不均衡系数表示为 $C_{u,t}$ 。 $C_{u,t}$ 的计算式为:

$$C_{u,t} = \frac{n \{ \max(P_{i,r,修}) - \min(P_{i,r,修}) \}}{\sum_{i=1}^n P_{i,r,修}} \quad (7)$$

令线网所有换乘站的换乘满载率不均衡系数综合评价值为 $C_{N,t}$, 其计算式为:

$$C_{N,t} = \frac{\sum C_{u,t} w_j}{\sum w_j} \quad (8)$$

式中:
 w_j ——线网中换乘站 u 的结构权重值, 取 $w_j = n$ 。

2.1.3 离站断面满载率评估值

换乘站的体现了换乘终了状态。设定换乘站 u 的离站断面满载率评估值为 $P_{u,l}$, 其计算式如下:

$$P_{u,l} = \frac{\sum \max(P_{u,i,l}, P_{D,i,l})}{i} \quad (9)$$

令线网所有换乘站的离站断面综合评价值为 $P_{N,l}$, 则有:

$$P_{N,l} = \frac{\sum P_{u,l} w_K}{\sum w_K} \quad (10)$$

为了对式(10)的 $P_{u,l}$ 作进一步的修正, 引入线网中换乘站 u 的客运强度权重值 w_K , 其计算式如下:

$$w_K = \frac{\sum f_{u,i}}{n} \quad (11)$$

式中:
 $f_{u,i}$ ——换乘站 u 中线路 i 的客运强度值。

2.2 指标分级

参照城市轨道交通服务质量评估和运营安全评价中满载率的分级标准, 对换乘站 u 的 $P_{u,l}$ 值的分级描述如下: 当其小于 80% 时, 充分利用运力且乘客舒适性较高, 匹配状况良好; 当其大于等于 80% 且小于 100% 时, 充分利用运力且乘客舒适性一般, 匹配状况一般; 当其大于等于 100% 且小于 130% 时, 运力紧张且乘客舒适性差, 匹配状况较差; 当其大于等于 130% 时, 运力极其紧张且乘客舒适性差, 匹配状况差。

参照满载率评估中不同级别的差值, 对换乘站对应的 $C_{u,t}$ 值的等级划分及描述如下: 当其小于 30% 时, 匹配程度良好; 当其大于等于 30% 且小于 60% 时, 总体匹配程度一般; 当其大于等于 60% 且小于 80% 时, 总体匹配程度较差; 当其大于等于 80% 时, 总体匹配程度差。

结合 $P_{u,l}$ 和 $C_{u,t}$ 共同形成换乘站 u 的客流匹配情况综合判断矩阵, 如表 5 所示。

表 5 换乘站匹配情况综合判断矩阵
Tab.5 Comprehensive judgment matrix of transfer station matching

$P_{u,l}/\%$	$C_{u,t}/\%$			
	<30	30 ~ <60	60 ~ <80	≥80
<80	良好	一般	较差	差
80 ~ <100	一般	一般	较差	差
100 ~ <130	较差	较差	较差	差
≥130	差	差	差	差

3 案例计算

本文选取重庆和成都轨道交通线网中处于城

区中心位置且换乘客流大的换乘站为典型换乘站，并将由这些典型换乘站组成的城市轨道交通线网称为该城市的城市轨道交通核心线网(以下简称“核心线网”)。采用典型换乘站的运力和客流数据进行换乘站客流匹配分析计算示例。

3.1 重庆市轨道交通换乘站客流匹配分析

基于重庆市轨道交通典型换乘站运力和客流数据,首先计算换乘站的 K_i ,各线路的 $P_{i,r}$,计算出

表 6 重庆市轨道交通典型换乘站 2019 年某个早高峰换乘匹配指标计算

Tab.6 Interchange matching index calculation of Chongqing rail transit typical transfer stations at certain morning peak hour in 2019

换乘站	K_1	K_2	K_3	$P_{1,r,修}/\%$	$P_{2,r,修}/\%$	$P_{3,r,修}/\%$	$C_{u,i}/\%$	$P_{u,i}/\%$	评估结果
两路口站	1.27	1.28		50	61		20	98	一般
红旗河沟站	1.10	1.01		49	48		2	121	较差
冉家坝站	1.01	1.12	1.25	24	34	47	66	84	较差
重庆北站南广场站	1.02	1.20	1.34	23	31	63	102	106	差
牛角沱站	1.46	1.20		60	39		42	138	差
大坪站	1.28	1.34		21	34		48	112	较差
四公里站	1.57	1.30		17	21		22	104	一般

由表 6 可知,两路口站虽运力差异率不大,但该站 1 号线换入 3 号线客流量大,换乘满载率不均衡系数为 20%,且离站断面满载率评估值高达 98%,因此该站换乘客流匹配总体评估结果为“一般”。大坪站虽运力差异率较大(该站 2 号线运力小),但 2 号线的换入客流量较小,1 号线的换入客流量较大,换乘满载率不均衡系数达 48%,且换乘后离站断面满载率评估值高达 112%,因此该站换乘客流匹配总体评估结果为“较差”。结合现场调研实际情况,大坪站 2 号线站台确有二次候车现象。

再次计算由这 7 个典型换乘站组成的重庆市轨道交通核心线网换乘站总体匹配情况,每个换乘站的 w_K 如表 7 所示。基于表 7 的 w_K ,综合计算得出重庆市轨道交通核心线网换乘站的 $P_{N,i}$ 为 110%, $C_{N,i}$ 为 48%,结合判断矩阵可得到重庆市轨道交通核心线网总体换乘匹配评估结果为“较差”。

3.2 成都轨道交通换乘站客流匹配分析

基于成都轨道交通典型车站运力和客流数据,首先计算换乘站各线路 $P_{r,i}$ 、 K_i 、 $P_{i,r,修}$ 并收集 $f_{u,i}$ 的数据(见表 8)。进一步计算 $C_{u,i}$ 和 $P_{u,i}$,根据以上两

换乘站各线路的 $P_{i,r,修}$,进而得出 $C_{u,i}$;在此基础上,计算得出换乘站 u 的 $P_{u,i}$ 。通过以上两个指标及评估判断矩阵则可得出某一换乘站的总体匹配情况。针对城市轨道交通核心线网,结合各换乘站的 w_K 计算 $P_{N,i}$,再结合各换乘站的 w_j 计算 $C_{N,i}$ 。

根据以上两个指标结合判断矩阵综合评估核心线网整体换乘匹配情况。重庆市轨道交通线网典型换乘站的评估指标计算如表 6 所示。

表 7 重庆市轨道交通典型换乘站客运强度权重

Tab.7 Station passenger transport intensity weight of Chongqing rail transit typical transfer station

换乘站	w_K
两路口站	1.55
红旗河沟站	1.09
冉家坝站	0.64
重庆北站南广场站	0.77
牛角沱站	1.16
大坪站	1.45
四公里站	0.91

个指标结合判断矩阵可得到换乘站换乘匹配综合评估结果(见表 9)。最后在计算 w_j 和 w_K 的基础上,针对核心线网计算 $C_{N,i}$ 、 $P_{N,i}$,根据以上两个指标结合判断矩阵可得到核心线网总体换乘匹配综合评估结果。

再次计算由这 10 个换乘站组成的成都市轨道交通核心线网,得到 $C_{N,i}$ 为 34%, $P_{N,i}$ 为 66%,结合判断矩阵可得到成都轨道交通核心线网总体换乘匹配评估结果为“一般”。

表 8 成都市轨道交通典型换乘站 2020 年 6 月某个早高峰换乘匹配指标计算

Tab. 8 Transfer matching index calculation of Chengdu rail transit typical transfer station at certain morning peak hour in June 2020

换乘站	换乘线路	列车编组	$P_{r,i}/\%$	$f_{u,i}$	K_i	$P_{i,r,修}/\%$
中医大省医院站	2 上/4 上	6B	54	1.90	1.46	79
	2 下/4 下	6B	26	1.40	1.50	39
	5 号线	8A	36	0.70	1.40	50
	10 号线	6A	22	0.20	1.18	26
太平园站	7 号线	6A	29	1.90	1.50	43
	3 号线	6B	24	1.40	1.31	32
春熙路站	3 号线	6B	23	1.40	1.46	33
	2 号线	6B	29	1.90	1.13	33
文化宫站	7 号线	6A	31	1.90	1.28	40
	4 号线	6B	19	1.40	1.47	27
神仙树站	7 号线	6A	17	1.90	1.24	21
	5 号线	8A	28	0.70	1.23	35
一品天下站	7 号线	6A	25	1.90	1.18	30
	2 号线	6B	19	1.90	1.34	25
市二医院站	4 号线	6B	16	1.40	1.28	21
	3 号线	6B	21	1.40	1.46	31
成都东客站站	7 号线	6A	18	1.90	1.33	24
	2 号线	6B	14	1.90	1.67	23
北站西二路站	7 号线	6A	13	1.90	1.03	14
	5 号线	8A	12	0.70	1.63	20
槐树店站	7 号线	6A	10	1.90	1.35	14
	4 号线	6B	6	1.40	1.88	12

注：“8A”指采用 8 节编组 A 型车辆,“6A”的含义类同;“2 上”指 2 号线上行,其余表述含义类同。

表 9 成都市轨道交通典型换乘站 2020 年 6 月某个早高峰换乘匹配指标计算

Tab. 9 Interchange matching index calculation of Chengdu rail transit typical transfer station at certain morning peak hour in June 2020

换乘站	$C_{u,r}/\%$	$P_{u,i}/\%$	w_j	w_K	评估结果
中医大省医院站	71	82	3	1.33	较差
太平园站	51	62	3	1.17	一般
春熙路站	0	73	2	1.65	良好
文化宫站	38	85	2	1.65	一般
神仙树站	48	78	2	1.30	一般
一品天下站	16	65	2	1.90	良好
市二医院站	40	80	2	1.40	一般
成都东客站站	4	65	2	1.90	良好
北站西二路站	37	38	2	1.30	一般
槐树店站	14	37	2	1.65	良好

4 结语

本文通过对换乘站客流匹配情况影响因素的分析,建立了评估换乘站客流匹配情况的评估指标、换乘满载率不均衡系数和离站断面综合评估

值;建立了城市轨道交通线网换乘站综合匹配评估指标并建立了基于这 2 个指标的综合判断矩阵。结合重庆、成都轨道交通线网典型换乘站的计算示例,经与现场调研情况的对比,以上指标基本能够反映车站现场的实际情况。

但本文针对三线及以上换乘站并未结合不同换乘线路间的换乘满载率不均衡系数进行深入分析。此外,综合判断矩阵指标分级的划定仍有一定的局限性,尤其是换乘满载率不均衡系数的分级需结合各城市轨道交通总体客流管控要求进一步的优化。

参考文献

[1] 中华人民共和国交通运输部. 关于印发《城市轨道交通正式运营前和运营期间安全评估管理暂行办法》的通知:交运规〔2019〕16 号[S]. 北京:中华人民共和国交通运输部,2019.
Ministry of Transport of the People’s Republic of China. Notice on issuing ‘interim measures for safety assessment and management before and during official operation of urban rail transit’: JYG (2019) No. 16[S]. Beijing: Ministry of Transport of the People’s Republic of China, 2019.

[2] 中华人民共和国交通运输部办公厅. 关于印发《城市轨道交通运营期间安全评估规范》的通知:交办运〔2019〕84 号[S]. 北京:中华人民共和国交通运输部办公厅,2019.
General office of the Ministry of Transport of the People’s Republic of China. Notice on issuing ‘standards for safety assessment during operation of urban rail transit’: JBY (2019) No. 84[S]. Beijing: General office of the Ministry of Transport of the People’s Republic of China, 2019.

[3] 张亮,吕利民,叶红霞,等. 基于多路径的城市轨道交通网络末班车动态可达性研究[J]. 城市轨道交通研究,2017(1):48.
ZHANG Liang, LYU Limin, YE Hongxia, et al. Dynamic accessibility of the last train in urban mass transit network based on multipath[J]. Urban Mass Transit, 2017(1):48.

[4] 徐瑞华,叶剑鸣,潘寒川. 列车运行延误条件下城市轨道交通网络换乘站大客流预警方法[J]. 中国铁道科学,2014(5):127.
XU Ruihua, YE Jianming, PAN Hanchuan. Method for early warning of heavy passenger flow at transfer station of urban rail transit network under train delay[J]. China Railway Science, 2014(5):127.

[5] 孙晶华,张吴平,吴亚楠,等. 山西省农业水土资源时空匹配及短缺分析[J]. 山西农业科学,2017(3):443.
SUN Jinghua, ZHANG Wuping, WU Ya’nan, et al. Study on spatial-temporal matching pattern and shortage of agricultural water and land resources in Shanxi Province[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2017(3):443.

(收稿日期:2020-12-24)