



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110751366 A

(43)申请公布日 2020.02.04

(21)申请号 201910863673.2

(22)申请日 2019.09.12

(71)申请人 西南交通大学

地址 610031 四川省成都市二环路北一段
111号

(72)发明人 吕红霞 倪少权 赖文静 陈钉均
潘金山 张杰 吕苗苗 李雪婷
陈韬 郭秀云 张慧 廖常宇
谢春

(74)专利代理机构 北京集智东方知识产权代理
有限公司 11578

代理人 陈亚斌 关兆辉

(51)Int.Cl.

G06Q 10/06(2012.01)

G06Q 50/30(2012.01)

权利要求书4页 说明书12页

(54)发明名称

一种干线铁路与城市轨道交通运能匹配度
计算方法

(57)摘要

本发明属于运能匹配度分析领域,具体涉及一种干线铁路与城市轨道交通运能匹配度计算方法。所述方法包括:(1)分析并确定干线铁路到达旅客出行方式选择的影响因素;(2)构建决定旅客出行方式选择行为的广义费用函数,给出广义费用函数中各影响因素权重系数的计算方法;(3)计算城市内不同交通方式的客流分担率;(4)根据城市轨道交通列车在客运枢纽站处的运行情况以及换乘城市轨道交通列车旅客的实际出行OD需求构建枢纽站处不同城市轨道交通列车的运输能力计算模型;(5)分析干线铁路到达客流和城市轨道交通运能之间的匹配性,给出城市轨道交通列车开行方案调整建议。本发明所述方法能够用于干线铁路与城市轨道交通之间的运能匹配分析。

1. 一种干线铁路与城市轨道交通运能匹配度计算方法,其特征在于,所述方法包括:

(1) 分析影响旅客交通方式选择的因素,将旅客交通方式选择影响因素进行量化分析,基于各影响因素构建旅客广义出行费用函数,通过调查数据拟合得到广义出行费用函数中的各影响因素的权重系数;

(2) 计算城市内各交通方式的广义出行费用,并确定各交通方式的客流分担率;

(3) 根据不同城市轨道交通列车在与干线铁路客运枢纽站衔接的地铁站处的运行状况的不同,将在与干线铁路客运枢纽站衔接的地铁站处的城市轨道交通列车分为始发列车、途径列车和终到列车;分别构建始发列车、途径列车和终到列车三种列车运输能力的计算模型;在构建三种列车运输能力的计算模型时,考虑干线铁路到达旅客在换乘站选择城市轨道交通时的实际OD需求;

(4) 分析干线铁路与城市轨道交通在换乘枢纽站处的运能匹配性;

(5) 根据运能匹配性分析结果,给出城市轨道交通列车开行方案调整建议。

2. 根据权利要求1所述一种干线铁路与城市轨道交通运能匹配度计算方法,其特征在于,步骤(1)中,基于各影响因素构建的旅客广义出行费用函数为:

$$V_i = (\theta_1 E_i + \theta_2 F_i * V(T) + \theta_3 C_i * V(T) + \theta_4 K_i) * S_i$$

式中: V_i 为第*i*种交通方式的广义出行费用,城市内的旅客交通方式包括地铁、公交、出租车、私家车和自行车, $i=1,2,\dots,5$;

E_i 为第*i*种交通方式的经济性指标, $E_i = R_i * L_i$, R_i 为第*i*种交通方式的运价率, L_i 为第*i*种交通方式的运行里程;

F_i 为第*i*种交通方式的快速性指标, $F_i = \frac{L_i}{V_i}$, L_i 为第*i*种交通方式的运行距离, V_i 为第*i*种交通方式的平均运行速度;

C_i 为第*i*种交通方式的方便性指标, $C_i = (t_i + w_i)$, t_i 为第*i*种交通方式的走行时间, w_i 为第*i*种交通方式的等待时间;

K_i 为第*i*种交通方式的舒适性指标, $K_i = J_i * 10\%$, J_i 为第*i*种交通方式的票价;

S_i 为第*i*种交通方式的安全性指标,与伤亡事故率成反比例变化,根据历年的伤亡事故统计资料,确定 S_i 的取值, $S_i \in [0, 1]$;

$$V(T) \text{ 为时间价值, } V(T) = \frac{\text{地区GDP}}{\text{地区人口数量} * \text{劳动者平均劳动时间}};$$

θ_1 、 θ_2 、 θ_3 、 θ_4 分别为经济性指标、快速性指标、方便性指标和舒适性指标的权重系数。

3. 根据权利要求2所述一种干线铁路与城市轨道交通运能匹配度计算方法,其特征在于,权重系数 θ_1 、 θ_2 、 θ_3 、 θ_4 是基于大量调查数据拟合获得,具体的确定方法为:

(1) 构建各评价因素和评价对象的判断矩阵并进行归一化处理:所述评价对象是指所研究的干线铁路客运枢纽站所在的城市;

将干线铁路客运枢纽站所在城市根据经济发展情况划分为*n*个区域,影响旅客出行方式选择的影响因素个数为*m*;求各区域内包含的所有城市内交通方式在各影响因素下指标值的均值,得到如下的原始数据矩阵:

$$X = \begin{Bmatrix} x_{11} \cdots x_{1n} \\ x_{21} \cdots x_{2n} \\ \cdots x_{kj} \cdots \\ \vdots \vdots \vdots \vdots \\ x_{m1} \cdots x_{mn} \end{Bmatrix}$$

其中:k为第k个影响旅客交通方式选择的因素;k=1,2,...m;

j为干线铁路客运枢纽站所在城市的第j个区域;j=1,2,...n;

x_{kj} 为第k个影响旅客交通方式选择的因素在城市第j个区域内的各交通方式指标值的均值;

x_{mn} 为第m个影响旅客交通方式选择的因素在该城市第n个区域内的各交通方式指标值的均值;

X为影响旅客交通方式选择的各因素在干线铁路客运枢纽站所在城市各区域内的各交通方式指标值的均值所构成的矩阵;

对小者为优的成本性指标而言,标准化过程为:

$$r_{kj} = \frac{\max_j \{x_{kj}\} - x_{kj}}{\max_j \{x_{kj}\} - \min_j \{x_{kj}\}}, \quad r_{kj} \in [0,1];$$

r_{kj} 为指标值 x_{kj} 所对应的标准值;

标准化后得矩阵:

$$R = \begin{Bmatrix} r_{11} \cdots r_{1n} \\ r_{21} \cdots r_{2n} \\ \cdots r_{kj} \cdots \\ \vdots \vdots \vdots \vdots \\ r_{m1} \cdots r_{mn} \end{Bmatrix}, \quad r_{ij} \in [0,1];$$

R为将矩阵X进行标准化之后得到的标准矩阵;

r_{mn} 为将指标值 x_{mn} 进行标准化之后得到的标准值;

(2) 定义熵

定义第k个影响因素的熵 H_k 为:

$$H_k = -v \sum_{j=1}^n f_{kj} \ln f_{kj}$$

$$\text{式中: } f_{kj} = \frac{r_{kj}}{\sum_{j=1}^n r_{kj}}, \quad v = \frac{1}{\ln n}$$

f_{kj} 为第k个影响因素在第j个区域内取值的标准值占所有区域标准值之和的比率;

(3) 定义熵权

定义并将得到各个影响因素的熵后,每个影响因素的熵权 w_k 如下式计算:

$$w_k = \frac{1-H_k}{m-\sum_{k=1}^m H_k}$$

式中, $0 \leq w_k \leq 1$, $\sum_{k=1}^m w_k = 1$;

所述影响因素包括:经济性指标、快速性指标、便利性指标和舒适性指标,故 $m=4$;

各影响因素的权重系数分别为:

$$\theta_1 = w_1, \theta_2 = w_2, \theta_3 = w_3, \theta_4 = w_4。$$

4. 根据权利要求3所述一种干线铁路与城市轨道交通运能匹配度计算方法,其特征在于,步骤(2)中,客流分担率计算法为:

对于城市内的 Ω 种运输方式,运用logit模型,计算出在干线铁路客运枢纽站处换乘市内交通运输方式的客流分担率 P_i ,其中, $i=1,2,3 \cdots \Omega$, Ω 为城市内交通方式的总个数;即

$$P_i = \frac{\exp(-V_i)}{\sum_{i=1}^{\Omega} \exp(-V_i)}$$

其中, V_i 为第 i 种交通方式的旅客广义出行费用;其中, V_i 根据所述旅客广义出行费用函数的计算公式以及求出的各影响因素权重系数 θ_1 、 θ_2 、 θ_3 、 θ_4 的值共同计算得到;

设干线铁路客运枢纽站旅客列车每日到达的高峰时段为 $T_{\text{铁}}$,高峰时段的到达客流量为 $L_{\text{铁}}$,轨道交通的客流分担率为 $P_{\text{轨}}$,则高峰时段从干线铁路客运枢纽站乘至城市轨道交通的客流量计算公式为:

$$C_{\text{轨}} = L_{\text{铁}} * P_{\text{轨}}。$$

5. 根据权利要求1所述一种干线铁路与城市轨道交通运能匹配度计算方法,其特征在于,步骤(3),具体为:

设定干线铁路客运枢纽站到达旅客中选择始发站线路 y 的概率为 P_{sy} ,选择途径站线路 z 的概率为 P_{tz} 。由于终到该干线铁路客运枢纽站的城市轨道交通列车,不再继续承担干线铁路到达旅客的换乘作业,因此,只研究始发站和途经站两种情况。 P_{sy} 和 P_{tz} 能够通过统计和分析乘客在进站闸机处的刷卡记录得到;

对于始发站而言,地铁列车上无原始旅客,铁路到达旅客可以直接换乘,该始发站处地铁列车的运输能力计算公式如下:

$$C_s = \sum_{y=1}^{n_1} 60 P_{sy} B_{sy} J_{sy} n_{sy} T_{\text{铁}} / I_{sy}$$

对于途经站而言,地铁列车上已存在一部分途经旅客,该途经站处地铁列车的运输能力计算公式如下:

$$C_t = \sum_{z=1}^{n_2} 60 P_{tz} B_{tz} J_{tz} (n_t - n_{tz}) T_{\text{铁}} / I_{tz}$$

式中:

C_s —始发站的城市轨道交通列车的运输能力;

C_t —途径站的城市轨道交通列车的运输能力;

P_{sy} —干线铁路客运枢纽站到达旅客中选择始发站线路 y 的概率；

P_{tz} —干线铁路客运枢纽站到达旅客中选择途径站线路 z 的概率；

B_{sy} —为线路 y 上始发每节城市轨道交通车辆的定员人数,人/辆；

B_{tz} —为线路 z 上途经每节城市轨道交通车辆的定员人数,人/辆；

$T_{铁}$ —铁路客运站旅客列车每日到达的高峰时段,小时；

J_{sy} 、 J_{tz} —分别为始发线路 y 、途经线路 z 上轨道交通列车的拖挂节数,辆；

I_{sy} 、 I_{tz} —分别为始发线路 y 、途经线路 z 上轨道交通列车的发车间隔时间,min；

n_{sy} —始发线路 y 上城市轨道交通的满载率,%；

n_t —城市轨道交通列车理论极限满载率,%；

n_{rz} —途经线路 z 到站后的实际满载率,%；

n_1 —铁路客运枢纽站所衔接的始发城市轨道交通线路的数量；

n_2 —铁路客运枢纽站所衔接的途经城市轨道交通线路的数量；

$y=1\cdots n_1$; $z=1\cdots n_2$;

城市轨道交通的总的运输能力计算公式为：

$$C_m = C_s + C_t。$$

6.根据权利要求1所述一种干线铁路与城市轨道交通运能匹配度计算方法,其特征在于,步骤(4)具体为:

用选择城市轨道交通为换乘方式的铁路到达客流量与城市轨道交通所能提供的运输能力的比值来表示运能匹配度,公式如下所示:

$$H = \frac{C_{铁}}{C_m} = \frac{L_{铁} * P_{铁}}{\sum_{y=1}^{n_1} 60P_{sy} B_{sy} J_{sy} n_{sy} T_{铁} / I_{sy} + \sum_{z=1}^{n_2} 60P_{tz} B_{tz} J_{tz} (n_t - n_{tz}) T_{铁} / I_{tz}}$$

H 为运能匹配度指标；

H 在0.86-0.9之间时为经济合理,运能匹配度最佳；

当 $H > 0.9$ 时,表明城市交通运输满足不了干线到达客流的换乘需求,不能及时完全疏散干线到达客流,会造成客流的拥堵与滞留；

当 $H < 0.86$ 时,表明城市轨道交通的运输能力较大,会造成城市轨道交通能力的浪费。

7.根据权利要求6所述一种干线铁路与城市轨道交通运能匹配度计算方法,其特征在于,当 $H > 0.9$ 时,通过缩短城市轨道交通列车的发车间隔或者增加城市轨道交通列车的编组数来提升城市轨道交通的运输能力,以及时疏散干线铁路高峰时段到达客流；

当 $H < 0.86$ 时,通过减少城市轨道交通列车的编组数或增大城市轨道交通列车的发车间隔来优化干线铁路与城市轨道交通之间的运能匹配性。

一种干线铁路与城市轨道交通运能匹配度计算方法

技术领域

[0001] 本发明属于运能匹配度分析技术领域,具体涉及一种以换乘枢纽站干线铁路高峰时段客流到达情况为基础的干线铁路与城市轨道交通运能匹配度计算方法。

背景技术

[0002] 区域轨道交通是指该区域内所含的全部可供旅客出行选择的轨道交通方式,主要有:普速铁路、高速铁路、市域铁路、城际铁路和城市轨道交通。根据各交通方式服务范围的不同,将其分为干线铁路、市域铁路和城市轨道交通。

[0003] 干线铁路是服务于中心城市之间的客流,主要包括:普速铁路、高速铁路和城际铁路。

[0004] 关于广义出行费用,旅客总是倾向于选择对自身效用最大的方式出行,也即出行费用最小的方式,通过分析选择经济、快速、方便、舒适和安全这五个旅客出行的基本要求作为广义费用的主要影响因素。是确定城市内各交通方式客流分担率的基础。

[0005] 客流分担率,是指各交通方式分担到的客流量占整体客流量的比率。

[0006] 运输能力是指在指定时间内,某线路或某方向所能运载的总旅客数。

[0007] 运能匹配可以用于分析换乘方式间运输能力的协调程度。

[0008] 目前,运能匹配度计算方法主要用来解决在换乘枢纽站处同制式之间的运能不匹配情况,而针对不同制式间运能匹配度的研究较少,且在计算城市轨道交通的运输能力时很少考虑不同列车、不同线路在计算方式上存在的差异。现有运能匹配度计算方法:(1)主要用于分析同制式之间的运能匹配性,对不同制式之间的运能匹配性分析较少;(2)已有的对干线铁路和城市轨道交通之间运能匹配性的研究,缺少对换乘客流的实际OD需求的分析;(3)在计算城市轨道交通的运输能力时,主要考虑列车发车间隔、定员人数、满载率和编组数。对不同线路、不同列车之间的差异性研究较少。

发明内容

[0009] 针对上述技术问题,本发明提供一种干线铁路与城市轨道交通运能匹配度计算方法,综合考虑了城市内各交通运输方式客流分担率的确定方法、干线铁路到达旅客在到达换乘枢纽站后的实际OD出行需求、干线铁路衔接的不同地铁线路的不同的运输能力计算方式之间的差异以及干线铁路与城市轨道交通之间运能匹配性分析流程。

[0010] 本发明是通过以下技术方案实现的:

[0011] 一种干线铁路与城市轨道交通运能匹配度计算方法,所述方法包括:

[0012] (1) 分析影响旅客交通方式选择的因素,将旅客交通方式选择影响因素进行量化分析,基于各影响因素构建旅客广义出行费用函数,通过调查数据拟合得到广义出行费用函数中的各影响因素的权重系数;

[0013] (2) 计算城市内各交通方式的广义出行费用,并确定各交通方式的客流分担率;

[0014] (3) 根据不同城市轨道交通列车在与干线铁路客运枢纽站衔接的地铁站处的运行

状况的不同,将在与干线铁路客运枢纽站衔接的地铁站处的城市轨道交通列车分为始发列车、途径列车和终到列车;分别构建始发列车、途径列车和终到列车三种列车运输能力的计算模型;在构建三种列车运输能力的计算模型时,考虑干线铁路到达旅客在换乘站选择城市轨道交通时的实际OD需求;

[0015] (4) 分析干线铁路与城市轨道交通在换乘枢纽站处的运能匹配性;

[0016] (5) 根据运能匹配性分析结果,给出城市轨道交通列车开行方案调整建议。

[0017] 进一步地,步骤(1)中,基于各影响因素构建的旅客广义出行费用函数为:

[0018] $V_i = (\theta_1 E_i + \theta_2 F_i * V(T) + \theta_3 C_i * V(T) + \theta_4 K_i) * S_i$

[0019] 式中: V_i 为第*i*种交通方式的广义出行费用,城市内的旅客交通方式包括地铁、公交、出租车、私家车和自行车, $i=1,2,\dots,5$;

[0020] E_i 为第*i*种交通方式的经济性指标, $E_i = R_i * L_i$, R_i 为第*i*种交通方式的运价率, L_i 为第*i*种交通方式的运行里程;

[0021] F_i 为第*i*种交通方式的快速性指标, $F_i = \frac{L_i}{V_i}$, L_i 为第*i*种交通方式的运行距离, V_i 为第*i*种交通方式的平均运行速度;

[0022] C_i 为第*i*种交通方式的方便性指标, $C_i = (t_i + w_i)$, t_i 为第*i*种交通方式的走行时间, w_i 为第*i*种交通方式的等待时间;

[0023] K_i 为第*i*种交通方式的舒适性指标, $K_i = J_i * 10\%$, J_i 为第*i*种交通方式的票价;

[0024] S_i 为第*i*种交通方式的安全性指标,与伤亡事故率成反比例变化,根据历年的伤亡事故统计资料,确定 S_i 的取值, $S_i \in [0, 1]$;

[0025] 由于各交通方式的伤亡事故率都很低,因此各交通方式的安全性水平比较接近,故很难对各交通方式的安全性进行排序并量化为费用。根据历年对各交通方式伤亡事故的统计资料可知:轨道交通的安全性要优于公路的安全性,但公路上的不同交通方式间基本无差别,为方便计算,在本发明中规定:轨道交通的安全性取值为0.99,公路的安全性取值为0.8。轨道交通即指地铁,公路交通包括:公交、私家车、出租车和自行车;

[0026] $V(T)$ 为时间价值, $V(T) = \frac{\text{地区GDP}}{\text{地区人口数量} * \text{劳动者平均劳动时间}}$;

[0027] θ_1 、 θ_2 、 θ_3 、 θ_4 分别为经济性指标、快速性指标、方便性指标和舒适性指标的权重系数。

[0028] 进一步地,权重系数 θ_1 、 θ_2 、 θ_3 、 θ_4 是基于大量调查数据拟合获得,具体的确定方法为:

[0029] (1) 构建各评价因素和评价对象的判断矩阵并进行归一化处理:所述评价对象是指所研究的干线铁路客运枢纽站所在的城市;

[0030] 将干线铁路客运枢纽站所在城市根据经济发展情况划分为*n*个区域,影响旅客出行方式选择的影响因素个数为*m*;求各区域内包含的所有城市内交通方式在各影响因素下指标值的均值,得到如下的原始数据矩阵:

[0031] 其中,影响旅客出行方式选择的各因素的取值分别用各因素的量化指标来表示。量化指标包括:经济性指标、快速性指标、方便性指标和舒适性指标,分别对应各影响因素。

$$[0032] \quad X = \begin{Bmatrix} x_{11} \cdots x_{1n} \\ x_{21} \cdots x_{2n} \\ \cdots x_{kj} \cdots \\ \vdots \vdots \vdots \vdots \\ x_{m1} \cdots x_{mn} \end{Bmatrix}$$

[0033] 其中:k为第k个影响旅客交通方式选择的因素;k=1,2...m;

[0034] j为干线铁路客运枢纽站所在城市的第j个区域;j=1,2...n;

[0035] x_{kj} 为第k个影响旅客交通方式选择的因素在城市第j个区域内的各交通方式指标值的均值;

[0036] x_{mn} 为第m个影响旅客交通方式选择的因素在该城市第n个区域内的各交通方式指标值的均值;

[0037] X为影响旅客交通方式选择的各因素在干线铁路客运枢纽站所在城市各区域内的各交通方式指标值的均值所构成的矩阵;

[0038] 对小者为优的成本性指标而言,标准化过程为:

$$[0039] \quad r_{kj} = \frac{\max_j \{x_{kj}\} - x_{kj}}{\max_j \{x_{kj}\} - \min_j \{x_{kj}\}}, \quad r_{kj} \in [0,1];$$

[0040] r_{kj} 为指标值 x_{kj} 所对应的标准值;

[0041] 标准化后得矩阵:

$$[0042] \quad R = \begin{Bmatrix} r_{11} \cdots r_{1n} \\ r_{21} \cdots r_{2n} \\ \cdots r_{kj} \cdots \\ \vdots \vdots \vdots \vdots \\ r_{m1} \cdots r_{mn} \end{Bmatrix}, \quad r_{ij} \in [0,1];$$

[0043] R为将矩阵X进行标准化之后得到的标准矩阵;

[0044] r_{mn} 为将指标值 x_{mn} 进行标准化之后得到的标准值;

[0045] (2) 定义熵

[0046] 定义第k个影响因素的熵 H_k 为:

$$[0047] \quad H_k = -v \sum_{j=1}^n f_{kj} \ln f_{kj}$$

$$[0048] \quad \text{式中: } f_{kj} = \frac{r_{kj}}{\sum_{j=1}^n r_{kj}}, \quad v = \frac{1}{\ln n}$$

[0049] f_{kj} 为第k个影响因素在第j个区域内取值的标准值占所有区域标准值之和的比率;

[0050] (3) 定义熵权

[0051] 定义并将得到各个影响因素的熵后,每个影响因素的熵权 w_k 如下式计算:

$$[0052] \quad w_k = \frac{1-H_k}{m-\sum_{k=1}^m H_k}$$

[0053] 式中, $0 \leq w_k \leq 1$, $\sum_{k=1}^m w_k = 1$;

[0054] 所述影响因素包括:经济性指标、快速性指标、便利性指标和舒适性指标,故 $m=4$;

[0055] 各影响因素的权重系数分别为:

[0056] $\theta_1=w_1, \theta_2=w_2, \theta_3=w_3, \theta_4=w_4$ 。

[0057] 进一步地,步骤(2)中,客流分担率计算法为:

[0058] 对于城市内的 Ω 种运输方式,运用logit模型,计算出在干线铁路客运枢纽站处换乘市内交通运输方式的客流分担率 P_i ,其中, $i=1,2,3 \cdots \Omega$, Ω 为城市内交通方式的总个数;即

$$[0059] \quad P_i = \frac{\exp(-V_i)}{\sum_{i=1}^{\Omega} \exp(-V_i)}$$

[0060] 其中, V_i 为第 i 种交通方式的旅客广义出行费用;其中, V_i 根据所述旅客广义出行费用函数的计算公式以及求出的各影响因素权重系数 $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$ 的值共同计算得到。

[0061] 设干线铁路客运枢纽站旅客列车每日到达的高峰时段为 $T_{\text{铁}}$, 高峰时段的到达客流量为 $L_{\text{铁}}$, 轨道交通的客流分担率为 $P_{\text{轨}}$, 则高峰时段从干线铁路客运枢纽站乘至城市轨道交通的客流量计算公式为:

[0062] $C_{\text{轨}} = L_{\text{铁}} * P_{\text{轨}}$ 。

[0063] 进一步地,步骤(3),具体为:

[0064] 设定干线铁路客运枢纽站到达旅客中选择始发站线路 y 的概率为 P_{sy} , 选择途径站线路 z 的概率为 P_{tz} 。由于终到该干线铁路客运枢纽站的城市轨道交通列车,不再继续承担干线铁路到达旅客的换乘作业,因此,只研究始发站和途经站两种情况。 P_{sy} 和 P_{tz} 能够通过统计和分析乘客在进站闸机处的刷卡记录得到;

[0065] 对于始发站而言,地铁列车上无原始旅客,铁路到达旅客可以直接换乘,该始发站处地铁列车的运输能力计算公式如下:

$$[0066] \quad C_s = \sum_{y=1}^{n_1} 60 P_{sy} B_{sy} J_{sy} n_{sy} T_{\text{铁}} / I_{sy}$$

[0067] 对于途经站而言,地铁列车上已存在一部分途经旅客,该途经站处地铁列车的运输能力计算公式如下:

$$[0068] \quad C_t = \sum_{z=1}^{n_2} 60 P_{tz} B_{tz} J_{tz} (n_t - n_{tz}) T_{\text{铁}} / I_{tz}$$

[0069] 式中:

[0070] C_s —始发站的城市轨道交通列车的运输能力;

[0071] C_t —途径站的城市轨道交通列车的运输能力;

[0072] P_{sy} —干线铁路客运枢纽站到达旅客中选择始发站线路 y 的概率;

- [0073] P_{tz} —干线铁路客运枢纽站到达旅客中选择途径站线路 z 的概率；
- [0074] B_{sy} —为线路 y 上始发每节城市轨道交通车辆的定员人数,人/辆；
- [0075] B_{tz} —为线路 z 上途经每节城市轨道交通车辆的定员人数,人/辆；
- [0076] $T_{铁}$ —铁路客运站旅客列车每日到达的高峰时段,小时；
- [0077] J_{sy} 、 J_{tz} —分别为始发线路 y 、途经线路 z 上轨道交通列车的拖挂节数,辆；
- [0078] I_{sy} 、 I_{tz} —分别为始发线路 y 、途经线路 z 上轨道交通列车的发车间隔时间,min；
- [0079] n_{sy} —始发线路 y 上城市轨道交通的满载率,%；
- [0080] n_t —城市轨道交通列车理论极限满载率,%；
- [0081] n_{rz} —途经线路 z 到站后的实际满载率,%；
- [0082] n_1 —铁路客运枢纽站所衔接的始发城市轨道交通线路的数量；
- [0083] n_2 —铁路客运枢纽站所衔接的途经城市轨道交通线路的数量；
- [0084] $y=1\cdots n_1$; $z=1\cdots n_2$;
- [0085] 城市轨道交通的总的运输能力计算公式为：
- [0086] $C_m=C_s+C_t$ 。
- [0087] 进一步地,步骤(4)具体为：
- [0088] 用选择城市轨道交通为换乘方式的铁路到达客流量与城市轨道交通所能提供的运输能力的比值来表示运能匹配度,公式如下所示：

$$[0089] \quad H = \frac{C_{铁}}{C_m} = \frac{L_{铁} * P_{铁}}{\sum_{y=1}^{n_1} 60P_{sy} B_{sy} J_{sy} n_{sy} T_{铁} / I_{sy} + \sum_{z=1}^{n_2} 60P_{tz} B_{tz} J_{tz} (n_t - n_{rz}) T_{铁} / I_{tz}}$$

- [0090] H 为运能匹配度指标；
- [0091] H 在0.86-0.9之间时为经济合理,运能匹配度最佳；
- [0092] 当 $H>0.9$ 时,表明城市交通运输满足不了干线到达客流的换乘需求,不能及时完全疏散干线到达客流,会造成客流的拥堵与滞留；
- [0093] 当 $H<0.86$ 时,表明城市轨道交通的运输能力较大,会造成城市轨道交通能力的浪费。
- [0094] 进一步地,当 $H>0.9$ 时,通过缩短城市轨道交通列车的发车间隔或者增加城市轨道交通列车的编组数来提升城市轨道交通的运输能力,以及时疏散干线铁路高峰时段到达客流。
- [0095] 当 $H<0.86$ 时,通过减少城市轨道交通列车的编组数或增大城市轨道交通列车的发车间隔来优化干线铁路与城市轨道交通之间的运能匹配性。

[0096] 本发明的有益技术效果：

- [0097] 1) 现有运能匹配度计算方法主要用于分析同制式之间的运能匹配性,而对于不同制式之间运能匹配性的研究较少,本发明提出了一种干线与城市轨道交通之间运能匹配度的计算方法,对于分析干线铁路与城市轨道交通之间运能匹配性具有很大的参考意义。
- [0098] 2) 现有城市轨道交通列车开行方案编制方法只考虑了选择城市轨道交通作为出行方式的客流情况,而没有考虑城市轨道交通与干线铁路之间的协调性,可能会导致干线铁路列车高峰时段的到达客流无法得到及时的疏散,本发明给出的方法可以对城市轨道交通列车开行方案的编制起到指导性作用,进而使编制出的城市轨道交通列车开行方案能有

效疏散干线铁路列车高峰时段的到达客流。

[0099] 3) 在计算城市轨道交通列车在换乘站处的运能时,现有计算方法没有考虑不同列车在换乘枢纽站处不同的运行状态,而且没有重点考虑选择城市轨道交通列车的换乘旅客在市内的实际OD需求,容易导致算出的运能与实际运输能力不符。

具体实施方式

[0100] 为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白,以下结合实施例,对本发明进行进一步详细描述。应当理解,此处所描述的具体实施例仅仅用于解释本发明,并不用于限定本发明。

[0101] 相反,本发明涵盖任何由权利要求定义的在本发明的精髓和范围上做的替代、修改、等效方法以及方案。进一步,为了使公众对本发明有更好的了解,在下文对本发明的细节描述中,详尽描述了一些特定的细节部分。对本领域技术人员来说没有这些细节部分的描述也可以完全理解本发明。

[0102] 本发明实施例提供一种干线铁路与城市轨道交通运能匹配度计算方法,运用运能匹配分析的相关理论与方法,通过计算干线铁路到达客运枢纽站后选择城市轨道交通作为出行方式的客流量、计算与铁路客运枢纽站衔接的地铁站处城市轨道交通列车的运输能力,分析干线与城市轨道交通在客运枢纽站处的运能匹配性,给出调整城市轨道交通列车开行方案调整建议。

[0103] 所述方法包括:

[0104] (1) 分析影响旅客交通方式选择的因素,将旅客交通方式选择影响因素进行量化分析,基于各影响因素构建旅客广义出行费用函数,通过大量调查数据拟合得到广义出行费用函数中的各影响因素的权重系数;

[0105] (2) 计算城市内各交通方式的广义出行费用,并确定各交通方式的客流分担率;

[0106] (3) 根据不同城市轨道交通列车在与干线铁路客运枢纽站衔接的地铁站处的运行状况的不同,将在与干线铁路客运枢纽站衔接的地铁站处的城市轨道交通列车分为始发列车、途径列车和终到列车;分别构建始发列车、途径列车和终到列车三种列车运输能力的计算模型;在构建三种列车运输能力的计算模型时,考虑干线铁路到达旅客在换乘站选择城市轨道交通时的实际OD需求;

[0107] (4) 分析干线铁路与城市轨道交通在换乘枢纽站处的运能匹配性;

[0108] (5) 根据运能匹配性分析结果,给出城市轨道交通列车开行方案调整建议。

[0109] 影响旅客出行方式选择的因素有很多,既有旅客个体的出行特征,又有交通方式自身的特征,而旅客总是倾向于选择对自身效用最大的方式出行。通过分析,选择经济、快速、方便、舒适和安全这五个旅客出行的基本要求作为广义费用的主要影响因素。为了构建广义出行费用函数,需要将各影响因素进行量化;在本实施例中,城市内的旅客交通方式包括地铁、公交、出租车、私家车和自行车。

[0110] E_i 为第 i 种交通方式的经济性指标, $i=1,2,\dots,5$; 旅客在选择交通工具时会重点考虑各种交通方式的经济性。衡量交通方式经济性因素的最直观指标是各交通方式的票价。本实施例使用各种交通方式的运价率和运行里程来计算经济性指标。具体为: $E_i = R_i * L_i$, R_i 为第 i 种交通方式的运价率, L_i 为第 i 种交通方式的运行里程;

[0111] F_i 为第*i*种交通方式的快速性指标,各种交通方式的快速性可以借助旅客采用不同交通方式出行所用的旅行时间来衡量;快速性直接决定着旅客的出行效率,提高速度意在减少旅行消耗的劳动价值,提高旅行效率;快速性指标计算如下:

[0112] $F_i = \frac{L_i}{V_i}$, L_i 为第*i*种交通方式的运行距离, V_i 为第*i*种交通方式的平均运行速度;

[0113] C_i 为第*i*种交通方式的方便性指标,方便性主要考虑出行者换乘时所需时间,包括走行时间及等候时间,走行时间一般由交通枢纽的规划布局及换乘流线决定,换乘的方便性指标计算公式如下: $C_i = (t_i + w_i)$, t_i 为第*i*种交通方式的走行时间, w_i 为第*i*种交通方式的等待时间;

[0114] K_i 为第*i*种交通方式的舒适性指标,交通工具的舒适性是现代旅客出行主要考虑的因素之一,主要体现在运行过程中的平稳性、坐席的舒适性、空间大小、环境温度条件等几个方面,各种运输方式的不同运行特性和服务设施导致其具有不同的舒适度。因为每个出行者的个人属性不同,对于各交通方式和客运产品的认知和期望必然有所差异,舒适性的判断对人的依赖性很大,故舒适性一般很难量化。根据运输管理部门的相关规定,票价的高低在一定程度上反映了运输方式的舒适程度。在本实施例中, $K_i = J_i * 10\%$, J_i 为第*i*种交通方式的票价;

[0115] S_i 为第*i*种交通方式的安全性指标, S_i 与伤亡事故率成反比例变化,根据历年的伤亡事故统计资料,确定 S_i 的取值,其中, $S_i \in [0, 1]$ 。由于各交通方式的伤亡事故率都很低,因此各交通方式的安全性水平比较接近,故很难对各交通方式的安全性进行排序并量化为费用。根据历年对各交通方式伤亡事故的统计资料可知:轨道交通的安全性要优于公路的安全性,但公路上的不同交通方式间基本无差别,为方便计算,在本发明中规定:轨道交通的安全性取值为0.99,公路的安全性取值为0.8。轨道交通即指地铁,公路交通包括:公交、私家车、出租车和自行车。安全性是指换乘交通运输方式的安全保障程度,是旅客选择交通方式的首要考虑因素。由于安全性无法用时间和价格来衡量,本实施例中,认为安全性相对于其他服务特性具有独立性,并且其他特性与安全性同时较优时,该运输方式的效用才能最优,因而安全性与其他特性应是乘法关系。

[0116] 旅客在选择交通方式时,需要综合评价经济性、快速性、方便性、舒适性和安全性。为了统一模型变量,通过引入旅客时间价值将出行时间转化为费用,与出行费用一起构成广义费用。

[0117] $V(T)$ 为时间价值, $V(T) = \frac{\text{地区GDP}}{\text{地区人口数量} * \text{劳动者平均劳动时间}}$;

[0118] 因此,在本实施例,步骤(1)中,基于各影响因素构建的旅客广义出行费用函数为:

[0119] $V_i = (\theta_1 E_i + \theta_2 F_i * V(T) + \theta_3 C_i * V(T) + \theta_4 K_i) * S_i$

[0120] 式中: V_i 为第*i*种交通工具的广义出行费用;

[0121] θ_1 、 θ_2 、 θ_3 、 θ_4 分别为经济性指标、快速性指标、方便性指标和舒适性指标的权重系数,需要大量调查数据拟合而得。

[0122] 在本实施例中,权重系数 θ_1 、 θ_2 、 θ_3 、 θ_4 是基于大量调查数据拟合获得,具体的确定方法为:

[0123] (1) 构建各评价因素和评价对象的判断矩阵并进行归一化处理:所述评价对象是

指所研究的干线铁路客运枢纽站所在的城市；

[0124] 将干线铁路客运枢纽站所在城市根据经济发展情况划分为n个区域，影响旅客出行方式选择的影响因素个数为m，求各影响因素下，各区域内包含的所有城市内交通方式的该因素的指标值的均值，得到如下的原始数据矩阵。

$$[0125] \quad X = \begin{pmatrix} x_{11} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & \dots & x_{2n} \\ \dots & x_{kj} & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{m1} & \dots & x_{mn} \end{pmatrix}$$

[0126] 其中，影响旅客出行方式选择的各因素的取值分别用各因素的量化指标来表示。

[0127] k为第k个影响旅客交通方式选择的因素；k=1,2,⋯,m；

[0128] j为干线铁路客运枢纽站所在城市的第j个区域；j=1,2,⋯,n；

[0129] x_{kj} 为第k个影响旅客交通方式选择的因素在城市第j个区域内的各交通方式指标值的均值；

[0130] x_{mn} 为第m个影响旅客交通方式选择的因素在该城市第n个区域内的各交通方式指标值的均值；

[0131] X为影响旅客交通方式选择的各因素在该干线铁路客运枢纽站所在城市各区域内的各交通方式指标值的均值所构成的矩阵；

[0132] 对小者为优的成本性指标而言，标准化过程为：

$$[0133] \quad r_{kj} = \frac{\max_j \{x_{kj}\} - x_{kj}}{\max_j \{x_{kj}\} - \min_j \{x_{kj}\}} \quad r_{kj} \in [0,1]$$

[0134] r_{kj} 为指标值 x_{kj} 所对应的标准值；

[0135] 标准化后得矩阵：

$$[0136] \quad R = \begin{pmatrix} r_{11} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & \dots & r_{2n} \\ \dots & r_{kj} & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{m1} & \dots & r_{mn} \end{pmatrix} \quad r_{ij} \in [0,1]$$

[0137] R为将矩阵X进行标准化之后得到的标准矩阵；

[0138] r_{mn} 为将指标值 x_{mn} 进行标准化之后得到的标准值；

[0139] (2) 定义熵

[0140] 定义第k个影响因素的熵 H_k 为：

$$[0141] \quad H_k = -v \sum_{j=1}^n f_{kj} \ln f_{kj}$$

$$[0142] \quad \text{式中：} f_{kj} = \frac{r_{kj}}{\sum_{j=1}^n r_{kj}}, \quad v = \frac{1}{\ln n}$$

[0143] f_{kj} 为第k个影响因素在第j个区域内取值的标准值占有所有区域标准值之和的比率;

[0144] (3) 定义熵权

[0145] 定义并将得到各个影响因素的熵后,每个影响因素的熵权 w_k 如下式计算:

$$[0146] \quad w_k = \frac{1-H_k}{m-\sum_{k=1}^m H_k}$$

[0147] 式中, $0 \leq w_k \leq 1, \sum_{k=1}^m w_k = 1$;

[0148] 所述影响因素包括:经济性指标、快速性指标、便利性指标和舒适性指标,故 $m=4$;

[0149] 各影响因素的权重系数分别为:

[0150] $\theta_1=w_1, \theta_2=w_2, \theta_3=w_3, \theta_4=w_4$ 。

[0151] 本实施例中,步骤(2)中,客流分担率计算法为:

[0152] 对于城市内的 Ω 种运输方式,运用logit模型,计算出在干线铁路客运枢纽站处换乘市内交通运输方式的客流分担率 P_i ,其中, $i=1,2,3 \cdots \Omega$, Ω 为城市内交通方式的总个数;即

$$[0153] \quad P_i = \frac{\exp(-V_i)}{\sum_{i=1}^n \exp(-V_i)}$$

[0154] V_i 为第i种交通工具的旅客广义出行费用,其中, V_i 为第i种交通方式的旅客广义出行费用, V_i 可以根据上述给出的旅客广义出行费用的计算公式以及求出的各影响因素权重系数 $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$ 的值共同计算得到。

[0155] 设干线铁路客运枢纽站旅客列车每日到达的高峰时段为 $T_{\text{铁}}$,高峰时段的到达客流量为 $L_{\text{铁}}$,轨道交通的客流分担率为 $P_{\text{轨}}$,则高峰时段从干线铁路客运枢纽站乘至城市轨道交通的客流量计算公式为:

[0156] $C_{\text{轨}}=L_{\text{铁}}*P_{\text{轨}}$ 。

[0157] 本实施例中,与干线铁路客运枢纽站衔接的地铁站可能是所衔接城市轨道交通线路上运营列车的始发站、途径站或者终到站,由于本发明研究的是城市轨道交通对干线铁路到达旅客的疏散能力,因此在计算城市轨道交通列车的运能时,只考虑在该换乘枢纽站始发或者途径的城市轨道交通列车。由于并不是所有衔接的城市轨道交通线路都满足到达旅客的实际出行OD的需求,因此干线铁路到达旅客在换乘站选择城市轨道交通时,需要根据自己的实际出行OD选择适合自己的城市轨道交通衔接线路。故在计算城市轨道交通列车的运能时,要考虑各线路是否满足旅客出行OD需求。

[0158] 步骤(3),具体为:

[0159] 设定干线铁路客运枢纽站到达旅客中选择始发站线路y的概率为 P_{sy} ,选择途径站线路z的概率为 P_{tz} ,由于终到该干线铁路客运枢纽站的城市轨道交通列车,不再继续承担干线铁路到达旅客的换乘作业,因此,只研究始发站和途径站两种情况。 P_{sy} 和 P_{tz} 能够通过统计和分析乘客在进站闸机处的刷卡记录得到;

[0160] 对于始发站而言,地铁列车上无原始旅客,铁路到达旅客可以直接换乘,该始发站处地铁列车的运输能力计算公式如下:

$$[0161] \quad C_s = \sum_{y=1}^{n_1} 60P_{sy} B_{sy} J_{sy} n_{sy} T_{\text{铁}} / I_{sy}$$

[0162] 对于途经站而言,地铁列车上已存在一部分途经旅客,该途经站处地铁列车的运输能力计算公式如下:

$$[0163] \quad C_t = \sum_{z=1}^{n_2} 60P_{tz} B_{tz} J_{tz} (n_t - n_{tz}) T_{\text{铁}} / I_{tz}$$

[0164] 式中:

[0165] C_s —始发站的城市轨道交通列车的运输能力;

[0166] C_t —途径站的城市轨道交通列车的运输能力;

[0167] P_{sy} —干线铁路客运枢纽站到达旅客中选择始发站线路y的概率;

[0168] P_{tz} —干线铁路客运枢纽站到达旅客中选择途径站线路z的概率;

[0169] B_{sy} —为线路y上始发每节城市轨道车辆的定员人数,人/辆;

[0170] B_{tz} —为线路z上途经每节城市轨道车辆的定员人数,人/辆;

[0171] $T_{\text{铁}}$ —铁路客运站旅客列车每日到达的高峰时段,小时;

[0172] J_{sy} 、 J_{tz} —分别为始发线路y、途经线路z上轨道交通列车的拖挂节数,辆;

[0173] I_{sy} 、 I_{tz} —分别为始发线路y、途经线路z上轨道交通列车的发车间隔时间,min;

[0174] n_{sy} —始发线路y上城市轨道交通的满载率,%;

[0175] n_t —城市轨道交通列车理论极限满载率,%;

[0176] n_{tz} —途经线路z到站后的实际满载率,%;

[0177] n_1 —铁路客运枢纽站所衔接的始发城市轨道交通线路数量;

[0178] n_2 —铁路客运枢纽站所衔接的途经城市轨道交通线路数量;

[0179] $y = 1 \cdots n_1; z = 1 \cdots n_2$;

[0180] 城市轨道交通的总的运输能力计算公式为:

[0181] $C_m = C_s + C_t$ 。

[0182] 本实施例中,步骤(4)具体为:

[0183] 用选择城市轨道交通为换乘方式的铁路到达客流量与城市轨道交通所能提供的运输能力的比值来表示运能匹配度,公式如下所示:

$$[0184] \quad H = \frac{C_{\text{铁}}}{C_m} = \frac{L_{\text{铁}} * P_{\text{铁}}}{\sum_{y=1}^{n_1} 60P_{sy} B_{sy} J_{sy} n_{sy} T_{\text{铁}} / I_{sy} + \sum_{z=1}^{n_2} 60P_{tz} B_{tz} J_{tz} (n_t - n_{tz}) T_{\text{铁}} / I_{tz}}$$

[0185] H为运能匹配度指标;查阅相关资料可知:运能匹配度指标H在0.86-0.9之间时最为经济合理,两者的能力匹配状况达到最佳,即能提供良好的运输服务水平,有效地疏散客流,又不至于造成交通资源的浪费。即,H在0.86-0.9之间时为经济合理,运能匹配度最佳;若H不在上述范围:

[0186] 当 $H > 0.9$ 时,表明城市交通运输满足不了干线到达客流的换乘需求,不能及时完全疏散干线到达客流,会造成客流的拥堵与滞留;

[0187] 当 $H < 0.86$ 时,表明城市轨道交通的运输能力较大,会造成城市轨道交通能力的浪费。

[0188] 可以通过调整城市轨道交通列车的编组或发车间隔来优化干线铁路与城市轨道交通之间的运能匹配性。

[0189] 针对干线铁路旅客到达高峰时段,需要及时组织城市轨道交通的运输能力,来完成干线铁路到达旅客的集散任务。根据上述运能匹配度分析结果,当 H 不在满意范围内时,需要通过调整使其尽量处于满意区间内。

[0190] 本实施例中,当 $H > 0.9$ 时,表明城市交通运输满足不了干线到达客流的换乘需求,不能及时完全疏散干线铁路到达客流,会造成客流的拥堵与滞留。此时,通过缩短城市轨道交通列车的发车间隔或者增加城市轨道交通列车的编组数来提升城市轨道交通的运输能力,以及时疏散干线铁路高峰时段到达客流。

[0191] 当 $H < 0.86$ 时,表明城市轨道交通的运输能力较大,这种情况可能会造成城市轨道交通运输能力的浪费。此时通过减少城市轨道交通列车的编组数或增大城市轨道交通列车的发车间隔来优化干线铁路与城市轨道交通之间的运能匹配性。

[0192] 对于本发明所提供的方法,如果已经获得客运枢纽站处的客流分配率,可以跳过第(1)–(3)步,直接进行第(4)、(5)步。

[0193] 本发明提供的干线铁路与城市轨道交通运能匹配度计算方法,在调整城市轨道交通列车开行方案时,考虑其与干线铁路的运能协调性;在研究干线铁路与城市轨道交通的运能协调性时,主要考虑高峰时段干线铁路到达客流;在计算与干线铁路客运枢纽站衔接的地铁站处城市轨道交通列车的运能时,根据列车在该衔接站的运行状态,来分别计算始发列车、终到列车、途径列车的运输能力,而且在计算各线路的运输能力时需要考虑干线铁路到达旅客的实际OD需求;并且能够根据运能匹配分析结果,给出城市轨道交通列车开行方案的调整建议。

[0194] 本发明提供的干线铁路与城市轨道交通运能匹配度计算方法,优点在于

[0195] 1) 构建的城市轨道交通列车运输能力计算模型考虑了不同城市轨道交通线路和不同城市轨道交通列车之间的差异;考虑了干线到达旅客在选择城市轨道交通时的实际OD需求;使得计算出的城市轨道交通运输能力更加贴合实际。

[0196] 2) 给出的城市轨道交通列车的开行方案调整建议,可以有效缓解干线铁路到达客流有可能在换乘枢纽站产生的无法及时疏散的情况、城市轨道交通列车运输能力不满足换乘站到达旅客对运输能力的需求的情况。

[0197] 本发明所述方法以区域协调性为基础,根据换乘枢纽站干线铁路到达旅客的出行方式选择情况,研究一种适用于计算干线铁路与城市轨道交通之间运能匹配性的方法,使得运能匹配性分析结果更加准确和贴合实际,进而以此为基础,对干线铁路、城市轨道交通的列车开行方案进行调整,使得区域轨道交通整体能力和综合效益得到提升。该干线铁路与城市轨道交通运能匹配度计算方法主要解决了:(1) 分析并确定干线铁路到达旅客出行方式选择的影响因素;(2) 构建决定旅客出行方式选择行为的广义费用函数,并给出广义费用函数中各影响因素权重系数的计算方法;(3) 计算城市内不同交通方式的客流分担率;(4) 根据城市轨道交通列车在客运枢纽站处的运行情况以及换乘城市轨道交通列车旅客的实际出行OD需求构建枢纽站处不同城市轨道交通列车的运输能力计算模型;(5) 分析干线铁路到达客流和城市轨道交通运能之间的匹配性,给出城市轨道交通列车开行方案调整建议。

[0198] 本发明提出的一种干线铁路与城市轨道交通运能匹配度计算方法综合考虑了城市内各交通运输方式客流分担率的确定方法、干线铁路到达旅客在到达换乘枢纽站后的实际OD出行需求、干线铁路衔接的不同地铁线路的不同的运输能力计算方式之间的差异以及干线铁路与城市轨道交通之间运能匹配性分析流程。该方法可用于解决干线铁路到达客流无法及时疏散、城市轨道交通列车运输能力不满足换乘站到达旅客对运输能力的需求、干线铁路与城市轨道交通之间的运能匹配分析等,建模过程方便简单、建模标准统一,方法计算效率高,方法真实可靠,方法考虑因素全面,具有很好的操作性、通用性和可重用性。