

doi:10.11918/j.issn.0367-6234.2015.09.019

城市轨道交通站点分布优化模型与算法

赵淑芝¹, 张晓亮¹, 岳丹飞², 曹 阳¹, 李晓玉¹

(1. 吉林大学 交通学院, 130022 长春; 2. 兰州交通大学 交通运输学院, 730070 兰州)

摘 要:为解决最优平均站间距在实际布设站点时指导作用不明显的问题,提出城市轨道交通站点分布优化模型与算法. 首先定义了城市半径,然后将城市分为3种形态,线路分为两类,分别建立基于城市规模的轨道交通平均站间距模型,并进行了求解. 根据线路途经区域能否建设站点,将线路分为障碍区、连接区和可行区,确定可行域. 根据站点客流量及线路途经区域的功能布局将站点分为3个等级,建立求解站点位置模型. 最后以长春轻轨4号线进行实例分析,结果表明:模型能够求解最优平均站间距,并确定每个站点的布设位置. 与既有站点比较分析,模型求解的站点分布将轻轨4号线高峰小时运能提高了6个百分点.

关键词:城市轨道交通; 平均站间距; 站间距; 站点分布; 城市规模; 城市半径

中图分类号: U491.1

文献标志码: A

文章编号: 0367-6234(2015)09-0101-06

Model and algorithm optimization of the site distribution of urban rail transit station

ZHAO Shuzhi¹, ZHANG Xiaoliang¹, YUE Danfei², CAO Yang¹, LI Xiaoyu¹

(1. College of Transportation, Jilin University, 130022 Changchun, China;

2. School of Traffic and Transportation, Lanzhou Jiaotong University, 730070 Lanzhou, China)

Abstract: To solve the problem that the optimal average station spacing guidance does not play a significant role in the actual layout of the stations, the model and algorithm optimization of the site distribution of urban rail transit station is proposed. Firstly the city radius is defined, and the city was divided into three types, and rail transit lines was divided into two types, the rail transportation average station distance model was established and solved based on the city scale, respectively. The line was divided into obstacles, connected region and the feasible region, according to the area line through is constructly or not. And then the stations was divided into three grades according to the station passenger flow and the functional layout of the area line through. Station location model was established and optimized. Finally, the optimal average station spacing and each site layout position can be solved by proposed model, in the case of Changchun light rail line 4. Light rail line 4 peak hour capacity was increased by 6%, site distribution of the model compared with the existing site.

Keywords: urban rail transit; the average station spacing; dynamic station tpacing; station distribution; urban scale; city radius

轨道交通站间距作为轨道交通系统规划与设计中的重要指标,国内外学者已经从轨道交通运营成本、居民出行时间、系统总成本、轨道交通与其他方式换乘便捷性、线网服务水平等多个角度,对轨道交通最优平均站间距作了大量研究^[1-12]. 然而,最优平均站间距模型没有充分考虑站点等级对站点布设顺序的影响,以及按理想最优站间距求得的站点位置能否建设站点,致使最优平均站间距模型在实际布设站点时并不能起到明显的指导作用,因此研究

确定轨道交通站点具体位置的模型是非常必要的.

1 轨道交通站间距特性分析

城市轨道交通新线建设的运营规模,按线路远期单向高峰小时运载能力,划分为4类、3个量级. 各级线路相关技术特性如表1^[13]所示.

对于全封闭的城市轨道交通线路,长度一般在35 km内,旅行速度与车辆最高速度有关,与车站的间距有关,不同站间距的旅行速度见表2^[13].

2 模型假设及优化目标

本文只研究轨道交通线路确定后站点如何布置的问题,为便于说明,提出以下假设条件.

收稿日期: 2014-04-19.

基金项目: 国家自然科学基金(51378237).

作者简介: 赵淑芝(1958—),女,教授,博士生导师.

通信作者: 张晓亮, zx110@mails.jlu.edu.cn.

表 1 城市轨道交通线路相关技术特性

线路等级	线路运能	线路类型	列车最大 长度/m	单向运能/ (万人·h ⁻¹)	平均站 间距/km	旅行速度/ (km·h ⁻¹)	适用城区 人口/万人
I	高运量	全封闭	185	4.5~7.0	1.2~2.0	35~40	≥300
II	大运量	全封闭	140	2.5~5.0	1.2~2.0	35~40	≥300
III	中运量	全封闭	100	1.5~3.0	1.2~2.0	35~40	≥150
IV	中运量	部分道口平交	60	1.0~2.0	0.8~1.5	20~30	≥150

表 2 不同站间距的旅行速度

车辆最高速度/ (km·h ⁻¹)	不同站间距的车辆旅行速度/(km·h ⁻¹)				
	1.0 km	1.5 km	2.0 km	2.5 km	3.0 km
70	30~33	35	—	—	—
80	—	38	40	45	50
100	—	40	45	50	55
120	—	—	50	55	60

城市规模已经确定且已知;线路走向已经确定;线路各路段的施工方案已经确定;线路的首末站已经确定;线路采用的车型已经确定;轨道交通沿线的客流可通过步行或常规公交换乘到达轨道交通站点。

在考虑城市规模、城市经济情况的基础上,充分发挥轨道交通的作用. 考虑轨道交通线网结构、线路途经区域、站点等级等因素,确定每个站点的具体位置,使模型很好地应用指导实践。

3 基于城市规模的平均站间距模型构建

3.1 城市规模分析

根据城市总体规划中城市中心城区外轮廓的近似形状,将城市分为圆形、椭圆、矩形 3 类,并将它们定义为城市的 3 种形态,分别用 $c = 1, 2, 3$ 来表示。

定义变量 R_c 为第 c 种城市的城市半径. 城市半径是一个标量,从距离上反映城市居民出行难易程度. 不同形态城市的半径计算方法如下。

圆形城市,假设近似圆的半径 r , 则

$$R_1 = r. \tag{1}$$

椭圆形城市,假设近似椭圆的长半轴为 a ,短半轴为 b , 则

$$R_2 = 0.5(a + b). \tag{2}$$

矩形城市,假设近似矩形的长为 d , 宽为 e , 则

$$R_3 = 0.5(R_3' + R_3''). \tag{3}$$

式中: $R_3' = \sqrt{de \cdot \pi^{-1}}$, $R_3'' = 0.5\sqrt{d^2 + e^2}$.

3.2 拟建轨道交通的分类型城市半径计算

文献[14]中根据城市常住人口将城市分为 5 类. 本文研究中,巨大城市和特大城市视为一个类别. 对我国拟建轨道交通的城市的规模进行分类界定,分为 3 类:特大城市(上限城市)、大城市、中等城市(下限城市)。

根据中心城区人口及中心城区面积,选取北京、上海、广州 3 座城市为上限城市,城市形态依次为:圆形、矩形、椭圆形. 根据式(1)~(3),计算得向量 $R_{cmax} = [18.0, 23.0, 17.1]$.

参考我国一、二、三线城市的分类情况,选取城市外轮廓较为典型的 3 个三线城市(金华、沧州、齐齐哈尔)作为研究对象,形态分别为圆形、椭圆形、矩形. 根据式(1)~(3),计算得到向量 $R_{cmin} = [8.3, 7.0, 6.8]$.

3.3 平均站间距模型的构建

3.3.1 建模思路

轨道交通是公共交通系统的骨干,在系统中高效地运送主要流向的客流,高效地集散主要节点的客流,不应该过多地考虑沿线所有乘客的分布情况。

由表 1、2 可知,在车辆配置相同的情况下,较大的平均站间距,能够提高车辆动力的利用率,提高车辆的营运速度,提高车辆的运送能力,从而使轨道交通在公共交通系统中充分发挥骨干作用. 虽然较大的站间距会降低轨道交通站点的可达性,但是当轨道交通投入运营之后,与轨道交通相交叉的常规公交线路会作出相应的局部优化,调整线路走向及站点布置,实现常规公交与轨道交通的有效接驳,使轨道交通站点具有较好的可达性。

在经济发达的大城市,地域辽阔,居民的活动范围及平均出行距离较大;相反,在相对落后的小城市,城市区域范围相对狭小,居民的活动范围及平均出行距离也相对较小. 综上所述,参考表 1 给出的平均站间距的参考值,大城市轨道交通的平均站间距适于取较大的参考值,小城市适于取较小值。

3.3.2 模型的建立

定义变量 $\bar{y}$ 为城市轨道交通的平均站间距. 由于假设轨道交通线路走向及各路段施工方案已经确定,站点个数对轨道交通建设总投资影响相对较小,所以在此只考虑一个主要因素城市半径 R_c 对轨道交通平均站间距的影响,模型的一般关系式为

$$\bar{y} = -\alpha \cdot \exp(-R_c \cdot \beta^{-1}) + \gamma. \tag{4}$$

其中: α, γ 为平衡系数, β 为灵敏度系数,且 α, γ, β 均为正值。

当 $\beta = 1$ 时, β 对模型无调节作用;当 β 减小时,

将增强 R_c 对 $\bar{y}$ 的影响,当 $\beta \rightarrow 0$ 时,即 $\bar{y}$ 对 R_c 的变化非常灵敏;当 β 增大时,将减缓 R_c 对 $\bar{y}$ 的影响,当 $\beta \rightarrow +\infty$ 时, $\lim_{\beta \rightarrow +\infty} \bar{y} = \gamma - \alpha$,即 R_c 对 $\bar{y}$ 的无影响。

根据表 1 各级线路相关技术特性,本文将 I、II、III 级线路定义为一类线路,IV 级线路定义为二类线路。

一类线路平均站间距方程组为

$$\begin{cases} 2.0 = -\alpha_c \cdot \exp(-R_{cmax} \cdot \beta_c^{-1}) + \gamma_c, \\ 1.2 = -\alpha_c \cdot \exp(-R_{cmin} \cdot \beta_c^{-1}) + \gamma_c. \end{cases} \quad (5)$$

二类线路平均站间距方程组为

$$\begin{cases} 1.5 = -\alpha_c \cdot \exp(-R_{cmax} \cdot \beta_c^{-1}) + \gamma_c, \\ 0.8 = -\alpha_c \cdot \exp(-R_{cmin} \cdot \beta_c^{-1}) + \gamma_c. \end{cases} \quad (6)$$

式(5)、(6)均由两个方程组成,含有 α_c 、 β_c 、 γ_c 3 个变量。先将灵敏度系数 β_c 视为已知量,对方程组进行联立求解,一、二类线路的模型具体关系式分别为

$$\bar{y}_c(I) = -0.8 \exp \frac{R_c}{-\beta_c} \cdot \tau + 0.8 \exp \frac{R_{cmax}}{-\beta_c} \cdot \tau + 2.0, \quad (7)$$

$$\bar{y}_c(II) = -0.7 \exp \frac{R_c}{-\beta_c} \cdot \tau + 0.7 \exp \frac{R_{cmax}}{-\beta_c} \cdot \tau + 1.5. \quad (8)$$

其中: $\tau = \left[\exp \frac{R_{cmin}}{-\beta_c} - \exp \frac{R_{cmax}}{-\beta_c} \right]^{-1}$ 。

根据向量 R_{cmax} 和向量 R_{cmin} 的值,选取区间 $R_c \in [7.0, 20.0]$ 来分析灵敏度系数 β_c 对 $\bar{y}_c$ 的影响。灵敏度系数 β_c 对一类线路的 $\bar{y}_c$ 的影响如图 1 所示,灵敏度系数 β_c 对二类线路的 $\bar{y}_c$ 的影响如图 2 所示。

分析图 1、2 发现,当 β_c 接近 1 时,随着 R_c 的增大 $\bar{y}_c$ 迅速逼近 $\bar{y}_{max}$, 然后趋于水平,当 β_c 增大到 1 000 时, $\bar{y}_c$ 关于 R_c 的函数曲线接近于一条倾斜的直线。显然这两种情况均不满足模型要求。当 β_c 接近区间 $[R_{cmin}, R_{cmax}]$ 中点时,随着 R_c 的增大,在前半区域 $\bar{y}_c$ 以一个较快的速度增长,在后半区域增速减缓,逐渐逼近 $\bar{y}_{max}$, 比较满足模型的要求。所以 $\beta_c = 0.5(R_{cmax} + R_{cmin})$, 即 $\beta_1 = 13.2$ 、 $\beta_2 = 15.0$ 、 $\beta_3 = 12.0$ 。

将 β_c 的解分别代入式(7)、(8)中,不同类型城市一、二类线路的模型具体关系式如下。

一类线路平均站间距模型为

$$\bar{y}_{(I)1} = -2.17 \cdot \exp(-0.0758R_c) + 2.48, \quad (9)$$

$$\bar{y}_{(I)2} = -2.20 \cdot \exp(-0.0667R_c) + 2.58, \quad (10)$$

$$\bar{y}_{(I)3} = -2.17 \cdot \exp(-0.0833R_c) + 2.41. \quad (11)$$

二类线路平均站间距模型为

$$\bar{y}_{(II)1} = -1.90 \cdot \exp(-0.0758R_c) + 1.92, \quad (12)$$

$$\bar{y}_{(II)2} = -1.93 \cdot \exp(-0.0667R_c) + 2.01, \quad (13)$$

$$\bar{y}_{(II)3} = -1.90 \cdot \exp(-0.0833R_c) + 1.86. \quad (14)$$

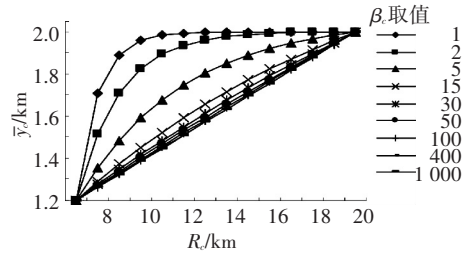


图 1 不同 β_c 值下 $\bar{y}_{(I)c}$ 关于 R_c 的函数曲线

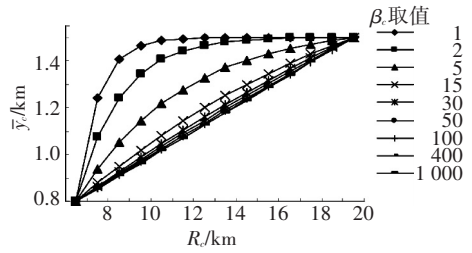


图 2 不同 β_c 值下 $\bar{y}_{(II)c}$ 关于 R_c 的函数曲线

4 站点分布优化

4.1 站点参数的确定

根据站点客流量的多少,途径区域的土地性质,将轨道交通的站点分为 3 个等级,一级站点优先级最高,二级站点次之,三级站点最低。

将综合换乘中心、轨道交通线路间换乘站定义为一级站点。将规模以上的商业企业、工业企业、大型住宅区、著名旅游景点以及学校所在区域的站点定义为二级站点。将轨道交通线路上除一级站点、二级站点以外的其他中途站点定义为三级站点。

假设 l 为线路长度, n 为线路上站点的数量, g_i 为线路的第 i 个站点,其中 $1 \leq i \leq n$ 。所以 g_1 为始发站, g_n 为终点站。线路的站点数为

$$n = [l \cdot \bar{y}^{-1} + 0.5] + 1. \quad (15)$$

站台长度 L_i 为远期列车编组长度加上允许的停车附加距离。对轨道交通列车,该距离一般可取 4 m 左右。即^[15]

$$L_i = l_c \cdot n_c + 4. \quad (16)$$

其中: l_c 为城市轨道交通车辆长度(包括挂钩),m; n_c 为车辆联挂节数。

4.2 可行域的确定

以始发站为数轴的原点,线路行进方向为数轴正向,以米为单位建立轨道交通的数轴。用 $x(A)$ 表示数轴上各点的坐标,显然 $x(g_1) = 0$, $x(g_n) = l$ 。

轨道交通线路与河流、铁路、城市道路等形成交叉区域,致使在该交叉区内,不能建设站点,则把河流等定义为障碍物,线路与障碍物边缘的交叉点定义为特殊点。此外,将线路的始发站和终点站也定义为线路的特殊点。设线路上共有 m 个障碍物,则线路共有 $2m + 2$ 个特殊点,始发站为 a_0 , 终点站为 a_{2m+1} , 第 f 个障碍物对应的特殊点为 a_{2f-1} 和 a_{2f} 。

在整条轨道交通线路上去掉线路与障碍物交叉区,将剩余的部分定义为线路的纯净区域。纯净区 $[a_{2f}, a_{2f+1}]$ 的域值小于可以建设轨道交通站点的最小空间长度,或者 $[a_{2f}, a_{2f+1}]$ 距离始发站和终点站小于轨道交通最小站间距 $D_{\min}$, 则将其定义为连接区。在纯净区域中去掉连接区,即得到可以设置站点的可行域。参考国内外轨道交通的建设情况,一类线路 $D_{\min} = 700$ m, 二类线路 $D_{\min} = 500$ m。

4.3 模型的构建

定义纯净区 $[a_{2f}, a_{2f+1}]$ 的锁函数为

$$p(2f, 2f+1) = \begin{cases} 1, & [a_{2f}, a_{2f+a}] \text{ 为可行区;} \\ 0, & [a_{2f}, a_{2f+a}] \text{ 为连接区。} \end{cases}$$

用 g_i 表示轨道交通线路上的第 i 个站点。线路的始发站 g_1 和终点站 g_n 已经确定,所以只需确定 $(g_2, g_3, \dots, g_{n-1})$, 共 $n - 2$ 个站点的位置。假设站点 g_i 的理想位置为 w , 下面对理想位置是否在可行区域中两种情况分析求解 $x(g_i)$ 。

若 w 在可行区 $[a_{2f}, a_{2f+1}]$ 中,则状态函数 $\varphi(2f, 2f+1) = 1$, 否则 $\varphi(2f, 2f+1) = 0$ 。若 $|w - a_{2f}| \cdot \varphi(2f, 2f+1) > 0.5D_0$, 则状态函数 $\varphi_1(2f) = 1$, 否则 $\varphi(2f) = 0$; 若 $|w - a_{2f+1}| \cdot \varphi(2f, 2f+1) > 0.5D_0$, 则状态函数 $\varphi_1(2f+1) = 1$, 否则 $\varphi_1(2f+1) = 0$ 。

定义与 w 紧邻的左侧可行域的右特殊点为 a_v , 右侧可行域的左特殊点为 a_u 。若 $|w - a_u| \leq |w - a_v|$, 则 $\eta(a_u) = 1, \eta(a_v) = 0$; 否则 $\eta(a_u) = 0, \eta(a_v) = 1$ 。轨道交通站点位置模型为

$$\begin{aligned} x(g_i) = & w \cdot \sum \varphi(2f, 2f+1) \cdot \sum \varphi_1(2f) \cdot \\ & \sum \varphi_1(2f+1) + (a_{2f} + 0.5D_0) \cdot \\ & \sum \varphi(2f, 2f+1) \cdot (1 - \sum \varphi_1(2f)) + \\ & (a_{2f+1} - 0.5D_0) \cdot \sum \varphi(2f, 2f+1) \cdot \\ & (1 - \sum \varphi_1(2f+1)) + (a_v - 0.5D_0) \cdot \\ & \eta(a_v) \cdot (1 - \sum \varphi(2f, 2f+1)) + (a_u + \\ & 0.5D_0) \cdot \eta(a_u) \cdot (1 - \sum \varphi(2f, 2f+1)). \end{aligned}$$

4.4 模型的求解

对线路上只有三级站点,没有一、二级站点的情况,根据前面的分析,在条件允许的情况下,站点 g_i

的理想位置为 $(i - 1)\bar{y}$, 模型具体求解流程图如图 3 所示。

对线路上只有一级和三级站点的情况,假设一级站点之间的距离较大,至少大于 $D_{\min}$, 所以在设置一级站点时不考虑其他一级站点的影响。

假设中途站中有 n' 个一级站,第 j 个一级站区域通过步行可到达轨道交通线路上的路径与轨道交通的交叉点用 p_j 表示,则 g_j' 的理想位置为 $x(g_i)$ 。

然后根据交叉点 p_j 是否在可行区中两种情况进行分析,确定 $x(g_j')$ 的过程与图 3 中求解 $x(g_i)$ 类似,在此不作赘述。

n' 个一级站将轨道交通分成 $n' + 1$ 段,每一段线路可视为“一条只有三级站点的轨道交通线路”。根据式 (15) 确定每一段上站点的数量,若 n_i 为第 i 段线路的站点数, l_i 为第 i 段线路的长度,则线路上总站点数为

$$n = \sum n_i - (n' + n''). \quad (17)$$

确定每一段线路上站点数后,重新计算每一段线路的平均站间距,第 i 段线路的平均站间距 $\bar{y}_i$ 为

$$\bar{y}_i = l_i \cdot (n_i - 1)^{-1}. \quad (18)$$

再根据图 3 确定三级站点的具体位置。对线路上只有二级和三级站点的情况,首先,根据二级站点的分布位置,判断是否存在两个二级站点之间的距离小于 $D_{\min}$, 若存在,将这两个二级站点合并,取两个二级站点的中点作为新的二级站点。在此不考虑 3 个及 3 个以上的二级站点间距小于 $D_{\min}$ 的情况。

n'' 个二级站将轨道交通分成 $n'' + 1$ 段,确定三级站点的方法与只有一级、三级站点时确定三级站点的方法相同。

对线路上 3 个级别的站点同时存在的情况,首先根据只有一级、三级站点时确定一级站点的方法确定 n' 个一级站点的具体位置。

判断二级站点与 $x(g_j')$ 之间的距离是否小于 $D_{\min}$, 若小于,则取消该二级站点。再判断是否存在两个二级站点之间的距离小于 $D_{\min}$, 若存在,将二者合并。假设经合并后,中途站中有 n'' 个二级站。

n' 个一级站将轨道交通分成 $n' + 1$ 段, n'' 个二级站分布在 $n' + 1$ 段中。每一段线路可视为一条只有二级站点和三级站点的轨道交通线路,确定每一段线路上二级站点的方法与只有二级、三级站点时确定二级站点的方法相同。

n' 个一级站和 n'' 个二级站将线路分成 $n' + n'' + 1$ 段,每一段线路可视为一条只有三级站点的轨道交通线路。确定每一段线路上三级站点的方法与只有一级、三级站点时确定三级站点的方法相同。

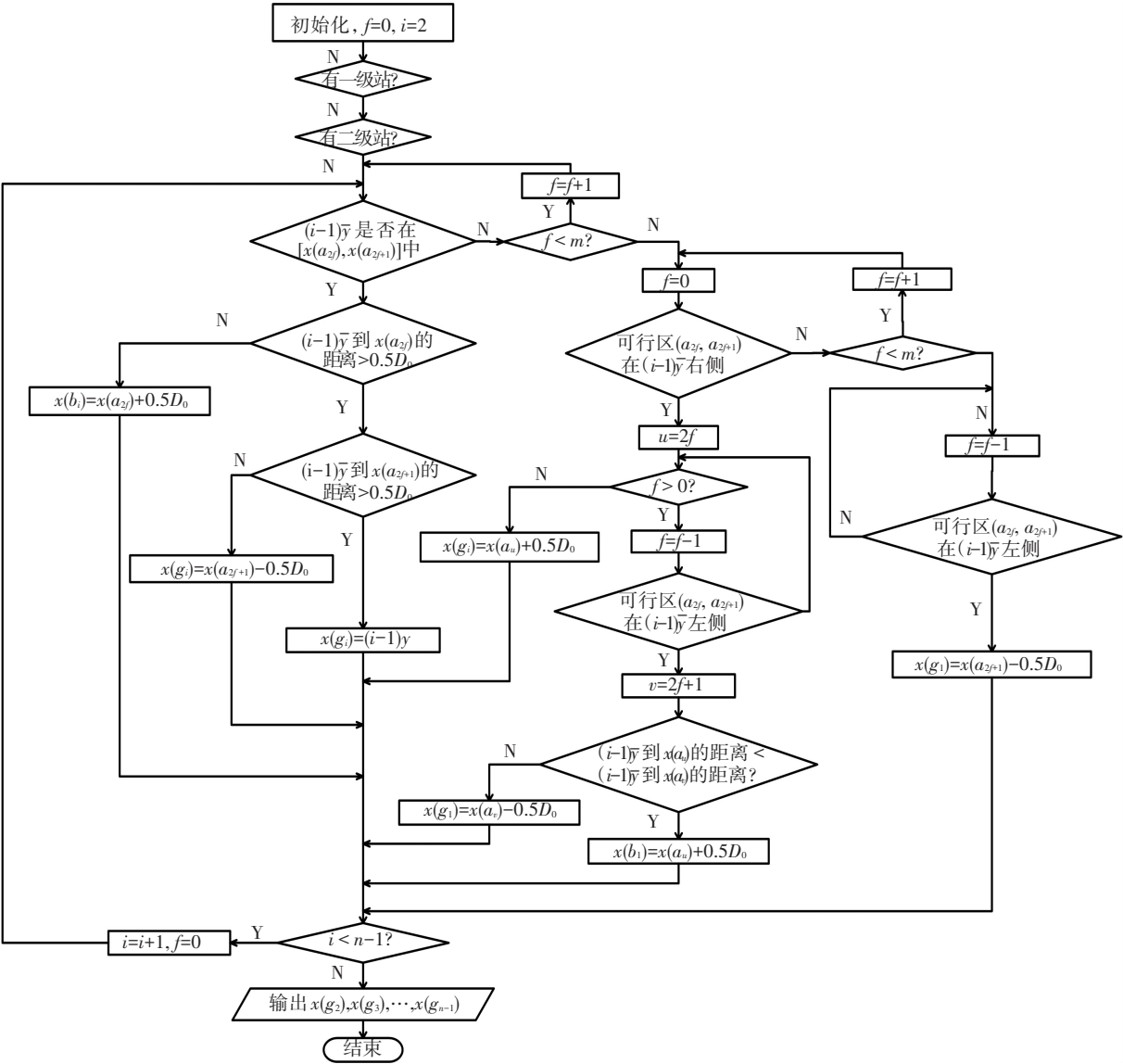


图 3 只有三级站点的模型求解流程图

5 实例分析

以长春市轻轨 4 号线为例进行分析,根据文献 [16],长春市城市快速轨道交通远景线网由 7 条线组成,3、4 号线已投入运营,其他线路还在规划建设中。轻轨 4 号线路全长 15.3 km(投入运营部分),其中地下隧道 3.3 km,其他为高架线,共设置 16 个站点,其中地下站 3 座,高架站 13 座。采用国标 C 型轻轨电动客车,两个单元共 6 个模块编组,车长 60 m,最高速度 70 km/h。根据文献[17],长春市中心城区规划图近似为椭圆形。根据式(2),计算 $R_2 = 15.6$ km。2012 年末长春市城区人口 363 万人,长春轻轨 4 号线单向运能每小时 6 万人次,线路类型为全封闭。根据表 1,轻轨 4 号线为 I 级线路,属椭圆形城市的一类线路,根据式(10),计算 $y_2(I) =$

1.33 km。所以轻轨 4 号线平均站间距设置为 1 330 m。

长春站北站 $x(g_1) = 0$,车场站 $x(g_n) = 15\,300$ 。轻轨 4 号线上共有 44 个障碍区,90 个特殊点。根据式(16)及考虑车站其他设施占用空间,总站台长度 D_0 取值 80 m。轻轨 4 号线为一类线路,所以最小站间距 $D_{\min} = 700$ m。

轻轨 4 号线有 5 个一级站,分别求得 $x(g'_1) = x(p_1) = 2\,496$ m, $x(g'_2) = x(p_2) = 3\,271$ m, $x(g'_3) = x(a_{26}) + 0.5D_0 = 5\,771$ m, $x(g'_4) = x(a_{50}) + 0.5D_0 = 7\,718$ m, $x(g'_5) = x(a_{68}) + 0.5D_0 = 11\,195$ m。

轻轨 4 号线有 4 个二级站区,经合并处理后有 1 个二级站。5 个一级站将线路分成 6 段,二级站点在第 4 段中,求得 $x(g''_1) = x(a_{38}) + 0.5D_0 = 6\,564$ m。

一级站点和二级站点将线路分成 7 段。各段三

级站点数如表 3 所示.

依次在第 1、3、6、7 段上确定三级站点,根据 3 个级别站点同时存在时确定三级站点的方法,求得 $x(g_2)=w=1\,248\text{ m}$, $x(g_5)=w=4\,521\text{ m}$, $x(g_9)=w=8\,877\text{ m}$, $x(g_{10})=w=10\,036\text{ m}$, $x(g_{12})=w=12\,563\text{ m}$, $x(g_{13})=x(a_{84})+0.5D_0=14\,012\text{ m}$.

表 3 各段三级站点数统计表

第 j 段数	n_i	三级站点数
1	3	1
2	2	0
3	3	1
4	2	0
5	2	0
6	4	2
7	4	2

为获得轻轨 4 号线的实际运行数据,本文研究人员于 3 月 20 日(星期四)对轻轨 4 号线早高峰的运行状态进行了随车调查.东新路站还在建设中,暂未开放.根据调查数据进行统计分析,高峰时段列车加速平均时耗约 32 s,加速行驶距离约为 230 m,减速平均时耗约 28 s,减速行驶距离约 170 m,每站平均停车时间约 30 s,到终点站停车约 1.5 min,匀速运行时的速度大约为 46~52 km/h.为方便计算,本文取其为 50 km/h,分别计算既有站点布置和模型计算站点布置时列车的运行时间.

既有站点布置情况(东新路站开通后): $t_1 \approx 34\text{ min}$,列车往返一次耗时 $T_1=71\text{ min}$.

模型计算站点布置: $t_2 \approx 32\text{ min}$,列车往返一次耗时 $T_2=67\text{ min}$.

$$(T_1^{-1}-T_2^{-1})\cdot T_2\times 100\%=6\%.$$

综上所述,在考虑城市规模、轨道交通线网结构及主要客流集散点的情况下,模型求解出的站点分布结果与既有站点分布相比,高峰小时额定周转运力提高了 6 个百分点.结果表明,采用优化后的站间距进行布设轨道交通站点,更能充分发挥轨道交通在公共交通系统中的骨干作用.

6 结 论

- 1)根据城市中心城区外轮廓的形状将城市分为 3 种形态,求解出不同形态城市的城市半径.
- 2)将轨道线路分为两个类别,分别建立了基于城市规模的轨道交通平均站间距模型,并分析确定灵敏度系数的取值.
- 3)确定站点的基本参数,分析线路上的特殊点

以及可行区间,建立了站点分布模型.

4)以长春轻轨 4 号线为例,应用模型求解出最优平均站间距,并确定了每一个站点的布设位置.与既有站点比较分析,模型求解的站点分布将轻轨 4 号线高峰小时运能提高了 6 个百分点.

参考文献

[1] ANTHONY A. Model for determining optimum bus stop spacing in urban areas [J]. Journal of Transportation Engineering, 2011, 127(3):1995–1999.

[2] BRUNE G, GENDREAU M, LAPORTE G. A heuristic for the location of a rapid transit line [J]. Computers & Operations Research, 2002, 29(1):1–12.

[3] BURD M. Ecological consequences of traffic organisation in ant societies[J]. Physica A, 2006, 372(1):124–131.

[4] DO H B, MULLEY C. Understanding spatial variations in the impact of accessibility on land value using geographically weighted regression[J]. Journal of Transport and Land Use, 2012, 5(2):1–12.

[5] HESS D B, ALMEIDA T M. Impact of proximity to light rail rapid transit on station-area property values in buffalo, New York[J]. Urban Studies, 2007, 44(5), 1041–1068.

[6] 李君, 叶霞飞.城市轨道交通车站分布方法研究[J].同济大学学报:自然科学版, 2004, 32(8):1009–1014.

[7] 张育南.北京城市轨道交通与城市空间整合发展问题研究[D].北京:清华大学, 2009.

[8] 潘琢.城市轨道交通站点分布优化研究[D].成都:西南交通大学, 2013.

[9] 唐奇.基于轨道交通的接运公交站点选取及接运线网优化研究[D].成都:西南交通大学, 2012.

[10] 张鹏.城市轨道交通站点布局优化研究[D].兰州:兰州交通大学, 2013.

[11] 樊云.城市轨道交通站点区域的外部空间形态研究[D].长沙:湖南大学, 2011.

[12] 陈丽君, 王占生, 陈学武.面向一体化设计的城市轨道交通站点功能定位方法[J].交通运输工程与信息学报, 2012, 10(4):49–55.

[13] 建标 104—2008 城市轨道交通工程项目建设标准[S].北京:中国计划出版社, 2008.

[14] 中国社科院.2014 年中国中小城市绿皮书[M].北京:中国社科院文献出版社, 2014.

[15] 毛保华.城市轨道交通规划与设计[M].北京:人民交通出版社, 2011.

[16] 长春市城乡规划设计研究院.长春市城市快速轨道交通线网规划[M].长春:博美图文出版社, 2011.

[17] 长春市城乡规划设计研究院.长春市城市总体规划(2011—2020 年)[M].长春:博美图文出版社, 2011.

(编辑 魏希柱)