

基于理想点法的高速铁路列车停站方案优化

查伟雄,任逸飞,李剑,严利鑫

(华东交通大学 交通运输工程学院,南昌 330013)

摘要:针对高速铁路列车停站方案优化问题,结合铁路运输按流开车、大客流优先的特点,根据乘客对列车的选择方式,即乘客会选择在途时间最短的列车,提出了一种适用于铁路的客流分配方式,并命名为大客流优先分配法.建立了以列车总停站次数、列车空费能力、旅客时间损失最小为目标,满足客流、列车运输能力、每辆列车停站次数、始发终到站及重点车站停站约束的多目标高速铁路列车停站方案优化模型,并设计了以理想点法为适应度函数的遗传算法进行求解.最后,对京沪高铁的实例进行验证.研究表明:优化后列车停站方案的总停站次数降低了7.92%,列车空费能力降低了19.84%,旅客损失时间降低了41.52%.研究成果可为列车停站方案的制定提供合理参考.

关键词:铁路运输;停站方案;客流分配;理想点法;遗传算法

中图分类号:U292 **文献标志码:**A

High-speed train stop schedule optimization based on ideal point method

ZHA Weixiong, REN Yifei, LI Jian, YAN Lixin

(School of Transportation Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: To optimize the high-speed train stop schedule, this paper considers the characteristics of driving according to passenger flow and priority of large passenger flow in railway transportation. And according to the passenger's choice of train, that is, passengers will choose the train with the shortest transit time, a passenger flow distribution method suitable for railways is proposed and named as distribution with large passenger flow as priority. The goal is to minimize the total number of train stops, the train stop cost, and the passenger time loss, and to meet the multiple constraints including passenger flow, train transportation capacity, the number of stops per train, departure and end arrivals, and key station stops. A constrained multi-objective high-speed train stop schedule optimization model is therefore established, and an improved genetic algorithm with ideal point method as the fitness function is designed to solve the problem. Finally, a case study of the Beijing-Shanghai high-speed railway is conducted. Results show that the total number of stops after adopting the optimized train stop schedule has been reduced by 7.92%, the train stop cost has been reduced by 19.84%, and the passenger time loss has been reduced by 41.52%.

收稿日期:2021-07-20;修回日期:2021-12-22

基金项目:国家自然科学基金(51805169)

Foundation item: National Natural Science Foundation of China (51805169)

第一作者:查伟雄(1963—),男,江西修水人,教授,博士,博士生导师.研究方向为交通运输系统优化. email: 1033723954@qq.com.

引用格式:查伟雄,任逸飞,李剑,等.基于理想点法的高速铁路列车停站方案优化[J].北京交通大学学报,2022,46(4):23-30.

ZHA Weixiong, REN Yifei, LI Jian, et al. High-speed train stop schedule optimization based on ideal point method[J]. Journal of Beijing Jiaotong University, 2022, 46(4): 23-30. (in Chinese)

The research results can provide a reasonable reference for the formulation of the train stop schedule.

Keywords: railway transportation; stop schedule; passenger flow distribution; ideal point method; genetic algorithm

列车停站方案是列车开行方案的重要环节,明确列车为旅客提供的服务区间,在列车径路、类别、编组辆数、开行频率确定后,根据客流需求和列车协调配合情况,确定各类列车的停站序列.高铁列车停站越多越方便旅客出行和换乘,也满足旅客的多元化需求,同时可以吸引更多客流,然而停站次数增多也会导致企业运营成本增加,乘客旅行时间增长,也不利于车底周转.因此,合理的停站方案选择对增加铁路企业的效益,提升铁路在多种运输方式中的竞争力有着重大的意义.

从现有的研究来看,国内外学者大多将运输成本最小化作为列车停站方案的目标函数进行考虑.Chang等^[1]将铁路企业和旅客出行的成本最小作为目标对台湾列车停站方案进行优化.Qi等^[2]以列车空费距离和所有列车总停站数最小为目标建立了一个多目标线性规划模型优化列车停站方案.李得伟等^[3]研究了如何使总停站次数最少.也有部分学者考虑到旅客的需求,建立了以旅客出行时间最小为目标的模型来优化列车停站方案.Niu等^[4]以旅客总等待时间最小为目标研究了时变条件下一条高铁走廊的列车时刻表优化问题.许若曦等^[5]建立了混合整数规划模型,侧重于旅客换乘等待时间损失.牛丰等^[6-7]构建不确定客流条件下的高速列车停站方案机会约束规划模型进行研究.田慧欣等^[8-9]考虑到城际铁路客流的时变特性,从客流出行时间信息入手,引入时空网络方法,建立了更加完善的评价体系.还有部分学者建立了双层规划模型,将企业和旅客同时进行考虑.邓连波等^[10]建立了一个双层规划模型优化旅客列车停站问题.黄志鹏等^[11-12]构建了能够描述旅客出行决策和高铁列车开行方案优化的动态博弈过程的双层规划模型.目前大多数学者在进行客流分配的过程中一般采用全有全无法、用户均衡模型或随机用户均衡模型,或将客流量当作约束条件考虑.同时,高速铁路列车停站方案优化为体现停站对经济效益、能力利用、运输组织的难易程度等的影响,采用多目标优化方法更符合实际.但由于量纲、数量级等原因,难点在于目标的集合.

铁路运输具有按流开车、大客流优先的特点,本文结合铁路运输的特点,根据乘客对列车的选择方式,即乘客会选择在途时间最短的列车,提出了

一种适用于铁路的客流分配方式,并命名为大客流优先分配法.将客流分配到每一列列车上,为停站方案制定、开行方案制定、客票分配等环节奠定基础.同时建立了以列车总停站次数、列车空费能力、旅客时间损失最小为目标,满足客流、列车运输能力、每辆列车停站次数、始发终到站及重点车站停站约束的多目标高速铁路列车停站方案优化模型,并设计了以理想点法为适应度函数的改进遗传算法进行求解,通过实例验证了模型及算法的可行性.

1 高速铁路列车停站方案数学描述

高速铁路列车停站方案是高速铁路列车在列车径路、类别、编组辆数、开行频率确定后,在各站点是否停站的停站序列^[13].本文主要以直线型多始发终到站列车停站方案为研究对象.设 $S = \{S_i | i = 1, 2, \dots, n\}$ 为某高速铁路线路上的车站集, n 表示线路上的车站总数. $T = \{T_k | k = 1, 2, \dots, m\}$ 为线路中的列车集, m 表示线路上的列车总数.高速铁路线路示意图如图1所示.

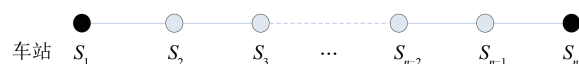


图1 高速铁路线路示意图

Fig.1 Schematic diagram of high-speed railway line

对于不同的列车 T_k ,它们的编组辆数不尽相同,用 G_k 表示高速铁路列车编组辆数.高速铁路列车编组辆数大多为8节或16节.不同的编组辆数也对应着不同的列车运输能力,往往用额定载客量来描述列车运输能力,用 c_k 表示列车 T_k 的额定载客量.

引入0-1变量 $x_{k,i}$ 来描述列车 T_k 在车站 S_i 停与不停两种情况,若列车 T_k 在车站 S_i 停,则 $x_{k,i} = 1$,若列车 T_k 在车站 S_i 不停,则 $x_{k,i} = 0$.

通常,一条线路上的列车停站方案包括一个以上的列车开行区段,对于不同开行区段的列车,它们的始发站和终到站不同,用 s_k 表示列车 T_k 的始发站,用 e_k 表示列车 T_k 的终到站.即当 $S_i = s_k$ 或 $S_i = e_k$ 时, $x_{k,i} = 1$.用 R_k 表示列车 T_k 的开行区段,而不在开行区段中的车站,对于列车 T_k 来说,不存在停站

作业,即当 $S_i \notin R_k$ 时, $x_{k,i} = 0$.

2 高速铁路列车停站方案优化模型

2.1 模型假设

直线型高速铁路停站方案的影响因素较多^[14],在建立模型之前,须做如下假设:

1) 相同性假设. 假定双向线路的客流量和收益相同,若要使整条线路的收益最大,只需要对单向线路进行研究.

2) 确定性假设. 列车的起讫点、开行对数、开行时间、动车组编组、动车组周转运用情况及客流均为已知条件,不考虑由于所制定的停站方案的不同所带来的客流量的变化.

2.2 目标函数设计

1) 停站总次数最少.

增加列车停站次数将延长列车占用车底的时间. 因此,在满足旅客需求的前提下,尽量减少列车停站次数,可以降低运输成本,提高铁路企业经济效益. 因此,以停站总次数最小为第一个优化目标建立目标函数为

$$\min Z_1 = \sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^n x_{k,i} \quad (1)$$

2) 列车空费能力最小.

铁路集团在制定列车停站方案时会保证列车上的上座率达到一定标准,列车空费能力在某种程度上可以表示列车座位浪费情况,用站间空座位数与站间距离的乘积表示为

$$\min Z_2 = \sum_{k=1}^m (c_k D_k - \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j>i}^n q_{k,i,j} d_{i,j}) \quad (2)$$

式中: D_k 为列车 T_k 运行距离,km; $q_{k,i,j}$ 为列车 T_k 上从车站 S_i 到车站 S_j 的旅客数量; $d_{i,j}$ 为车站 S_i 和车站 S_j 之间的距离.

3) 旅客时间损失最小.

旅客在途时间由旅客候车时间、列车运行时间和列车停站消耗时间构成. 本文主要考虑列车停站消耗时间对旅客时间损失的影响,因此旅客时间损失为不下车的旅客由于列车停站而增加的旅行时间,计算公式为

$$\min Z_3 = \sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j>i}^n \{q_{k,i,j} [\sum_{i<p<j}^n x_{k,p} (t_1 + t_2)]\} \quad (3)$$

式中:车站 S_p 为车站 S_i 和车站 S_j 中间的车站; t_1 为列车的停站时间,min; t_2 为列车的启停附加时间,min.

2.3 约束条件设计

列车停站方案必须尽可能满足铁路运输需求并符合相关技术规范. 因此,在编制过程中需要考虑一系列系统约束条件,如客流需求约束、列车运输能力约束、每辆列车停站次数约束、始发终到站及重点车站停站约束等.

1) 客流量约束.

停站方案的编制需遵从按流开车的原则^[15],即根据客流量的多少,确定列车是否进行停站服务. 因此,各区段上列车的载客数量都应该满足区段客流的需求,以尽可能地保证客流能够全部带走. 约束条件为

$$q_{i,j} = \sum_{k=1}^m q_{k,i,j} \quad (4)$$

$i = 1, 2, \dots, n-1; j = 2, 3, \dots, n; i < j$

式中: $q_{i,j}$ 为从车站 S_i 到车站 S_j 的客流量.

2) 列车运输能力约束.

为保证高速铁路列车的服务质量和安全,需要保证在任何时候,高速铁路列车上的旅客数量均不大于列车的定员数,即每个区间列车上的人数均不大于列车的定员.

设 n 个车站将高速铁路线路分为 $n-1$ 个区间 r ,约束条件为

$$c_k \geq \max_{1 \leq r \leq n-1} \left\{ \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j>i}^n q_{k,i,j} \xi_{r,i,j} \right\} \quad (5)$$

$k = 1, 2, \dots, m$

式中: $\xi_{r,i,j}$ 为0-1变量,表示区间 r 是否在车站 S_i 和车站 S_j 之间.

3) 每辆列车停站次数约束.

列车停站次数过多会降低列车的旅行速度,同时影响了通过能力. 为满足旅客对便利性、快捷性、高服务质量以及铁路部门经济效益、运输效率等不同方面的要求,需要对单次列车最大停站次数进行限制. 同时为满足必须的停站作业需求,需要对单次列车最小停站次数进行限制. 约束条件为

$$W_1 \leq \sum_{i=1}^n x_{k,i} \leq W_2 \quad k = 1, 2, \dots, m \quad (6)$$

式中: W_1 为列车 T_k 的最小规定停站次数; W_2 为列车 T_k 的最大规定停站次数.

4) 始发终到站及重点车站停站约束.

通常一条线路上的列车停站方案包括一个以上的列车开行区段,对于不同开行区段的列车,它们的始发站和终到站不同,列车在其始发终到站

必须停车,同时为满足必要的停站作业,在某些列车在相应的重点车站也必须停车.对于列车 T_k ,不在其开行区段中的车站,不存在停站作业,约束条件为

$$x_{k,i} = \begin{cases} 1 & S_i = s_k, e_k, v_k; k = 1, 2, \dots, m \\ 0 & S_i \notin R_k; k = 1, 2, \dots, m \end{cases} \quad (7)$$

式中: v_k 为列车 T_k 的重点车站.

5)取值范围约束.

变量 $x_{k,i}$ 描述列车 T_k 在车站 S_i 停与不停两种情况,是0-1决策变量,取值范围为

$$x_{k,i} \in \{0, 1\} \quad i = 1, 2, \dots, n; k = 1, 2, \dots, m \quad (8)$$

变量 $q_{k,i,j}$ 取值范围为

$$q_{k,i,j} \geq 0 \quad i = 1, 2, \dots, n-1; j = 2, 3, \dots, n; i < j; k = 1, 2, \dots, m \quad (9)$$

变量 c_k 为列车 T_k 的额定载客量,为方便计算,高速铁路8节编组列车的额定载客量通常取600,16节编组列车的额定载客量通常取1200,取值范围为

$$c_k \in \{600, 1200\} \quad k = 1, 2, \dots, m \quad (10)$$

2.4 优化模型分析

通过对目标函数和约束条件的设计,得到高速铁路停站方案优化模型,该模型为多目标0-1非线性优化模型,属于NP-hard问题,使用精确算法很难在较短时间内获得最优解,因此选择了人工智能算法来对其进行求解.

3 算法设计

针对模型,首先需要进行客流分配来确定每列车上乘客的上下站点,才能对目标进行求解.结合0-1决策变量以及列车停站方案的特点,该模型适合用遗传算法求解.本文利用理想点法将多目标问题转化为单目标问题,并设计了结合大客流优先分配法的遗传算法对模型进行求解.

3.1 大客流优先分配法

铁路上的客流分配方式与道路上的客流分配方式不同,若把选择不同的列车看作选择路径,路段的阻抗不是随着客流增加而慢慢变化的,而是当乘客数到达额定载客量时,后续的乘客就不能选择乘坐这趟列车.因此不能采取常规的如用户均衡等配流方法.

本文结合铁路运输按流开车、大客流优先的特点,根据乘客对列车的选择方式,即乘客会选择在途时间最短的列车,提出了一种适用于铁路的客流分配方式,并命名为大客流优先分配法.具体

算法思路为:根据按流开车的原则、开行方案的编制原则以及客票分配的原则,可以将客流数量最多的OD点对的乘客优先分配满足乘客上下车、中途停站最少以及运行总里程最短的列车.根据客流数量大小依次分配,最后将所有客流分配完毕.

客流分配方式的具体算法分为4个步骤.

步骤1:在客流OD矩阵中选取数值最大的数 a , a 对应了从车站 S_i 到车站 S_j 的旅客数量.

步骤2:在事先生成的0-1停站矩阵中选取满足 $x_{k,i} = 1$ 和 $x_{k,j} = 1$ 且尚未满员的列车,累加列车从 i 站到 j 站的停站0-1变量,选取其中累加值最小的一列列车或几列列车,也就是从车站 S_i 到车站 S_j 中间停站次数最少的列车.

步骤3:计算这几列列车的行驶里程长度,选取其中行驶里程数最短的一列或几列列车,若是一列列车,将该列车额定载客量减去车站 S_i 到车站 S_j 之间各区间的已有载客量,取最小值;若是几列列车,将分别计算这几列列车额定载客量减去该列车从车站 S_i 到车站 S_j 之间各区间的已有载客量,取最小值.

步骤4:若待分配的客流数量小于此最小值,则将待分配的客流数量全部附加到该列车上或几列列车上,将客流OD矩阵中的对应客流清零,并转回步骤1进行下一次分配.若待分配的客流数量大于等于此最小值,则将该最小值的客流附加到列车上.将客流OD矩阵中的客流减去已经分配下去的客流,并转回步骤1进行下一次分配,若最后 $q_{i,j} - \sum_{k=1}^m q_{k,i,j} = 0$,则说明该停站方案满足客流需求.若最后 $q_{i,j} - \sum_{k=1}^m q_{k,i,j} > 0$,则说明该停站方案不合理.

3.2 理想点法

由于设计的优化模型存在多个目标,且目标的单位和数量级具有较大差异,一般的权重赋值方法并不适用于将此多目标问题转化为单目标问题,理想点法具有可以无视不同目标之间单位和数量级差异的优点,因此本文引入理想点法作为适应度函数,具体计算方法为:在相同的约束条件下,对多目标问题中的各个目标单独进行求解,得到各个目标的最优解

$$F^* = \{f_1^*, f_2^*, \dots, f_l^*\} \quad (11)$$

式中: f_l^* 是第 l 个目标值的最优解,为期望值.

引入惩罚因子 α_l ,对于每一种停站方案都有一

个实际值 $F = \{f_1, f_2, \dots, f_l\}$, 将实际值和期望值之间的偏差做比较来选择问题的解, 其数学表达式为

$$f_i = f_i^* (1 + \alpha_i) \quad (12)$$

取适应度函数的最小值, 转化后的单目标问题的解即为原多目标问题的解

$$\min Z' = \sum_i \alpha_i \quad (13)$$

在本文中, 由于多目标优化的目标数为3个, 因此 $l = 1, 2, 3$, 对各目标代入下文遗传算法进行单目标求解, 计算出期望值, 各目标期望值分别为 $f_1 = 438, f_2 = 35\ 557\ 627, f_3 = 706\ 390$.

3.3 遗传算法设计

遗传算法的基础思想就是先编码, 然后再随机地生成初始的种群. 以优胜劣汰为基础原则, 根据目标函数值所设定的适应度函数, 在群体中通过选取适应度最好的个体直接从其中进入下一代, 邻域群体则是通过交叉变异而产生的, 而且在其中存活下来的后代则是经过自然选择后目前在种群中最好的染色体. 具体算法分为9个步骤.

步骤1: 初始化, 包括初始停站方案相关数据, 车站数据、列车数据、客流数据等以及遗传算法的交叉概率、变异概率、种群规模、最大迭代次数.

步骤2: 种群初始化. 初始化种群 P , 种群大小为 N . 每一个个体代表一个列车停站方案. 由于使用0和1表示列车在车站是否停站, 所以采用二进制编码. 以高速铁路线上所有列车经过的站点为一个染色体, 一个站点作为一个基因位, 所有站点的集合就是染色体的长度. 基因取值为0表示列车在该站不停站, 取值为1表示列车在该站停站.

步骤3: 客流分配. 运用大客流优先分配法, 将所有乘客分配到每一列列车上, 若个体不满足客流需求, 则在适应度计算时加一个较大惩罚因子, 若满足客流需求, 则进入下一算法步骤.

步骤4: 适应度函数设定. 运用理想点法将多目标问题转化为单目标问题. 求解每个目标的最优解作为期望值, 通过比较实际值和期望值之间的偏差对个体从小到大进行排序.

步骤5: 判断是否达到最大迭代次数, 若没有, 则继续下面的算法步骤. 若达到最大迭代次数, 则输出个体适应度值最低的最佳个体作为结果.

步骤6: 以适应度函数的大小为依据, 对群体进行排序, 采取锦标赛选择, 产生新一代种群.

步骤7: 对种群中的染色体进行交叉操作, 根据交叉概率随机选择2条染色体, 采用两点交叉将2条染色体对应序列的基因进行交换.

步骤8: 对种群中的染色体进行变异操作, 根据变异概率随机选择染色体, 采用单点变异随机生成新个体.

步骤9: 经过选择、交叉、变异后生成的新种群, 转向步骤3进行计算.

4 算例分析

以京沪高铁2018年某日列车停站方案相关资料为例进行分析, 京沪高速铁路由北京南站至上海虹桥站, 全长1 318 km, 共设24个车站, 为方便计算, 将天津西站和天津南站都统计为天津站, 统计为23个站. 23个车站将线路划分为22个区间, 将车站沿下行方向依次标号如图2所示.

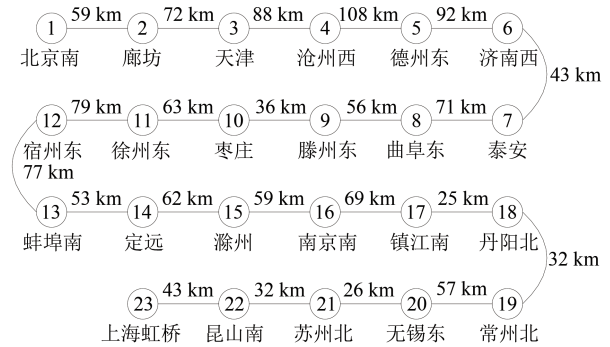


图2 京沪高铁线路示意图

Fig.2 Schematic diagram of Beijing-Shanghai high-speed railway line

初始停站方案中列车总数 $m = 62$ 列. 各列车始发终到站均确定. 停站时间 $t_1 = 2$ min, 启停附加时间为 $t_2 = 3$ min. 编组辆数均为16辆, 列车定员 $c_k = 1\ 200$ 人. 最小停站次数 $W_1 = 2$, 最大停站次数 $W_2 = 16$. 客流数据见表1.

4.1 计算过程

为验证算法的有效性, 采用电脑CPU为2.6 GHz六核Intel Core i7, 内存为16 GB, MATLAB 2019 b进行求解, 参数设置: 最大迭代次数500次, 初始种群规模为100, 交叉概率为0.8, 变异概率为0.2, 先对各目标进行单目标求解, 计算出期望值, 各目标期望值分别为 $f_1 = 438, f_2 = 35\ 557\ 627, f_3 = 706\ 390$. 再利用理想点法求解得到优化后的京沪高铁列车停站方案. 迭代次数图如图3所示.

由图3可见, 算法在第346代后趋于稳定, 转化后的单目标问题最小值为0.111. 优化后的列车停站方案如图4所示.

4.2 结果分析

将得到的优化后的列车停站方案与现有列车停

表1 2018年某日京沪高铁下行列车客流表

Tab.1 Passenger flow chart of Beijing-Shanghai high-speed railway on a certain date in 2018

车站	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮	⑯	⑰	⑱	⑳	㉑	㉒	㉓
①	4 701	5 252	3 023	2 088	5 905	1 662	1 682	413	629	2 467	340	522	36	187	5 726	609	87	880	1 188	1 753	278	10 503
②		553	237	99	200	43	32	5	9	101	5	15	0	4	115	2	1	12	16	23	4	156
③			929	527	1 175	232	339	56	84	478	55	100	5	29	868	67	12	154	219	297	52	1 298
④				159	387	85	53	18	21	180	13	25	1	5	211	26	4	34	58	58	16	320
⑤					871	211	155	36	58	158	13	24	1	7	175	12	1	27	42	48	7	324
⑥						1 273	1 284	582	915	715	85	129	11	47	1 306	145	22	209	275	390	91	2 125
⑦							450	138	223	321	25	45	3	17	311	28	4	39	64	77	24	515
⑧								100	223	327	20	48	3	15	398	34	4	75	86	117	28	819
⑨									37	237	13	23	1	6	146	4	1	13	22	36	12	227
⑩										526	9	44	1	6	303	13	2	30	50	73	12	439
⑪											312	367	47	141	4 767	315	50	617	678	1 035	307	2 633
⑫												154	20	62	775	22	8	83	88	131	64	640
⑬													44	188	1 727	65	22	156	180	219	120	1 514
⑭														42	456	6	3	23	29	43	25	145
⑮															1 435	17	8	46	57	109	50	463
⑯																1 215	121	1 697	1 282	1 581	807	10 507
⑰																	16	197	121	189	85	1 608
⑱																		17	30	18	20	131
⑲																			334	478	188	2 288
⑳																				663	314	3 569
㉑																					273	3 569
㉒																						1 837
㉓																						

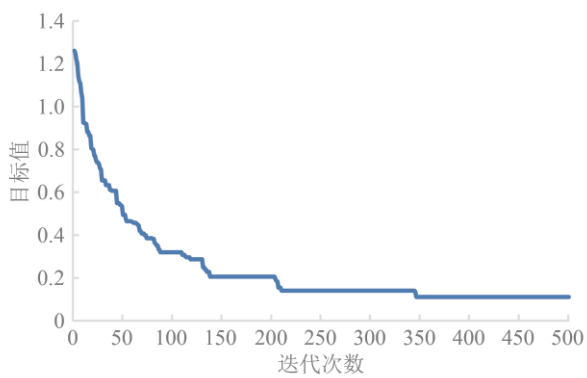


图3 迭代次数图

Fig.3 Schematic diagram showing numbers of iterations

站方案在几个方面做比较,结果如表2所示.

由表2可知,该列车停站方案的总停站次数为465次,优化前的原始停站方案的总停站次数为505次,减少了40次,优化了7.92%.该列车停站方案

的列车空费能力为36 257 241,优化前的原始停站方案的列车空费能力为45 236 534,减少了8 979 293,优化了19.84%.该列车停站方案的旅客损失时间为727 065 min,优化前的原始停站方案的旅客损失时间为1 243 400 min,减少了516 335 min,优化了41.52%.

研究结果显示,相比较于原列车停站方案,新的列车停站方案在各方面都有所改进.针对总停站次数和列车空费能力的优化效果并没有旅客损失时间那么显著,是因为提出的一种新的客流分配方法,可以极大程度地减少旅客因停站而损耗的时间,而为了满足客流的出行需求,有些停站是必须的,所以针对列车总停站次数的优化效果没有那么明显,但是也减少了不必要的停站.因此,研究成果可为列车停站方案的制定提供合理参考.

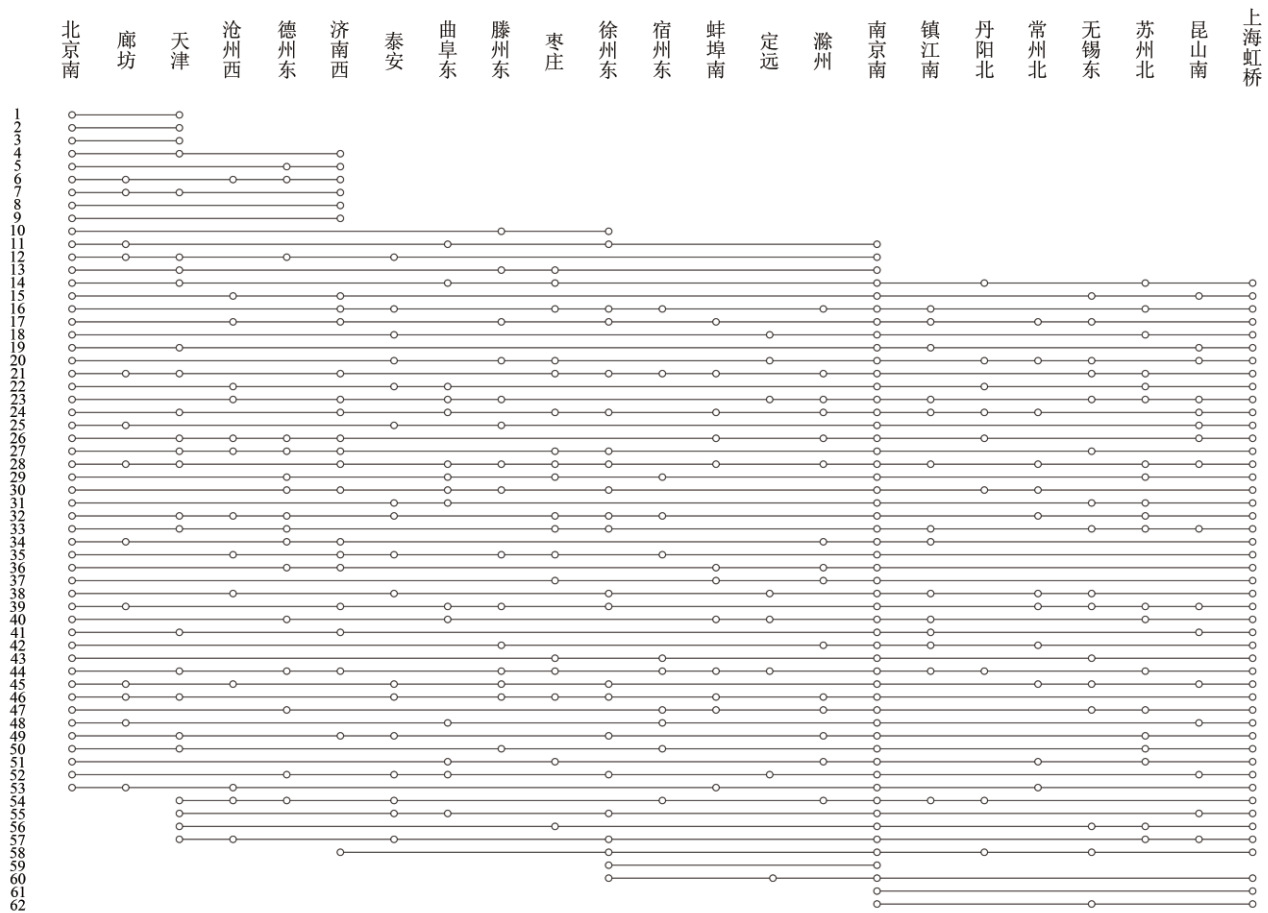


图 4 优化后的列车停站方案图

Fig.4 Schematic diagram of optimized schedule for train stops

表 2 列车停站方案对比表

Tab.2 Comparison of train stop schedule

停站方案	总停站次数/ 次	列车空费能力	旅客损失时间/ min
原停站方案	505	45 236 534	1 243 400
优化后的停站方案	465	36 257 241	727 065

5 结论

1)建立了以总停站次数、列车空费能力、旅客损失时间最小为目标函数的多目标列车停站方案优化模型.并提出大客流优先分配法,设计了遗传算法对模型进行求解.

2)以京沪高铁为实例,对原列车停站方案进行优化.结果表明,优化后的列车停站方案能够减少 7.92% 的停站次数,减少 19.84% 的列车空费能力,降低 41.52% 的旅客损失时间,研究成果可为停站方案的制定提供合理参考.

3)以直线性列车停站方案作为研究对象,很多条件已经确定,复杂度较低.下一步研究方向是继续完善客流分配方式,以及结合客流分配的高速铁

路开行方案优化.

参考文献 (References):

[1] CHANG Y H, YE H C H, SHEN C C. A multiobjective model for passenger train services planning: application to Taiwan's high-speed rail line[J]. Transportation Research Part B: Methodological, 2000, 34(2): 91-106.

[2] QI J G, YANG L X, DI Z, et al. Integrated optimization for train operation zone and stop plan with passenger distributions[J]. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2018, 109: 151-173.

[3] 李得伟, 韩宝明, 李晓娟, 等. 基于节点服务的高速铁路列车停站方案优化模型[J]. 铁道学报, 2013, 35(6): 1-5.

LI Dewei, HAN Baoming, LI Xiaojuan, et al. High-speed railway stopping schedule optimization model based on node service[J]. Journal of the China Railway Society, 2013, 35(6): 1-5. (in Chinese)

[4] NIU H M, ZHOU X S, GAO R H. Train scheduling for minimizing passenger waiting time with time-dependent demand and skip-stop patterns: Nonlinear integer programming models with linear constraints[J]. Transporta-

- tion Research Part B: Methodological, 2015, 76: 117–135.
- [5] 许若曦, 聂磊, 付慧伶. 面向提升旅客出行效率的高速铁路列车停站方案优化[J]. 交通运输系统工程与信息, 2020, 20(2): 174–180.
XU Ruoxi, NIE Lei, FU Huiling. Train stop plan optimization of high-speed rail for improving passenger travel efficiency[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2020, 20(2): 174–180. (in Chinese)
- [6] 牛丰, 戚建国, 秦进. 基于不确定客流的高速铁路列车停站方案优化方法[J]. 铁道学报, 2016, 38(7): 1–7.
NIU Feng, QI Jianguo, QIN Jin. Optimization model for train stopping plan on high-speed railway corridor with uncertain passenger demands[J]. Journal of the China Railway Society, 2016, 38(7): 1–7. (in Chinese)
- [7] 秦进, 谭宇超, 张威, 等. 基于时空网络的城际高速铁路列车开行方案优化方法[J]. 铁道学报, 2020, 42(2): 1–10.
QIN Jin, TAN Yuchao, ZHANG Wei, et al. Train planning optimization for intercity railway based on space-time network[J]. Journal of the China Railway Society, 2020, 42(2): 1–10. (in Chinese)
- [8] 田慧欣, 王帝, 帅民伟, 等. 面向OD客流的高速列车开行方案的优化[J]. 东北大学学报(自然科学版), 2020, 41(11): 1535–1542.
TIAN Huixin, WANG Di, SHUAI Minwei, et al. Optimization of high-speed train operation plan for OD passenger flow[J]. Journal of Northeastern University (Natural Science), 2020, 41(11): 1535–1542. (in Chinese)
- [9] PARBO J, NIELSEN O A, PRATO C G. Reducing passengers' travel time by optimising stopping patterns in a large-scale network: a case-study in the Copenhagen Region[J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2018, 113: 197–212.
- [10] 邓连波, 史峰, 周文梁. 旅客列车停站设置方案优化[J]. 中国铁道科学, 2009, 30(4): 102–107.
DENG Lianbo, SHI Feng, ZHOU Wenliang. Stop schedule plan optimization for passenger train[J]. China Railway Science, 2009, 30(4): 102–107. (in Chinese)
- [11] 黄志鹏, 田志强, 司晓鑫. 时段偏好的高铁开行方案的双层规划方法[J]. 铁道科学与工程学报, 2021, 18(4): 861–868.
HUANG Zhipeng, TIAN Zhiqiang, SI Xiaoxin. A bi-level programming approach of period-preferred train operations for high-speed railways[J]. Journal of Railway Science and Engineering, 2021, 18(4): 861–868. (in Chinese)
- [12] 蒲松, 王文宪, 陈钉均, 等. 高速旅客列车开行方案的鲁棒优化模型[J]. 交通运输系统工程与信息, 2015, 15(6): 101–106.
PU Song, WANG Wenxian, CHEN Dingjun, et al. The robust model for line planning problems of high speed passenger train[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2015, 15(6): 101–106. (in Chinese)
- [13] 张小炳, 倪少权, 潘金山. 基于均衡性和可达性的高速铁路列车停站方案优化[J]. 计算机应用研究, 2017, 34(7): 1962–1965.
ZHANG Xiaobing, NI Shaoquan, PAN Jinshan. Optimization of high speed railway stop schedule plan based on balance and accessibility[J]. Application Research of Computers, 2017, 34(7): 1962–1965. (in Chinese)
- [14] SHANG P, LI R M, LIU Z Y, et al. Equity-oriented skip-stopping schedule optimization in an oversaturated urban rail transit network[J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2018, 89: 321–343.
- [15] 龙品秀, 史峰, 胡心磊, 等. 不同需求日高铁列车开行方案协同优化方法[J]. 铁道科学与工程学报, 2019, 16(2): 310–318.
LONG Pinxiu, SHI Feng, HU Xinlei, et al. The collaborative optimization of multi-day line plannings for high-speed railway[J]. Journal of Railway Science and Engineering, 2019, 16(2): 310–318. (in Chinese)