



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 112734095 A

(43) 申请公布日 2021. 04. 30

(21) 申请号 202011622596.0

(22) 申请日 2020.12.30

(71) 申请人 中车青岛四方车辆研究所有限公司

地址 266031 山东省青岛市市北区瑞昌路
231号

(72) 发明人 葛学超 王青元 王玉冰 金波
高天 孙鹏飞

(74) 专利代理机构 青岛清泰联信知识产权代理
有限公司 37256

代理人 张媛媛

(51) Int. Cl.

G06Q 10/04 (2012.01)

G06Q 10/06 (2012.01)

G06Q 10/10 (2012.01)

G06Q 50/26 (2012.01)

权利要求书4页 说明书9页 附图1页

(54) 发明名称

考虑大小交路的时刻表和车底运用计划编制方法

(57) 摘要

本发明提供一种考虑大小交路的时刻表和车底运用计划编制方法,包括:针对大小交路运行列车,根据时刻表信息拟定发车间隔差异目标函数和车底出入库次数目标函数;构建约束条件,约束条件包括发车间隔约束条件、车次接续约束条件、交路约束条件;基于发车间隔差异目标函数和车底使用目标函数拟定协同优化模型函数;基于约束条件,对发车间隔差异目标函数和车底出入库次数目标函数求解,进而对协同优化模型函数Z求解,得到时刻表与车底运用计划方案数据。该方法综合考虑大小交路计划对时刻表与车底运用计划编制的影响,提出一体化编制方法,从而避免了传统编制过程中将时刻表与车底运用计划作为两个独立过程进行编制出现的反复修改问题。



1. 一种考虑大小交路的时刻表和车底运用计划编制方法,其特征在于,包括:

针对大小交路运行列车,根据时刻表信息拟定发车间隔差异目标函数 Z_1 和车底出入库次数目标函数 Z_2 ;

构建约束条件,所述约束条件包括发车间隔约束条件、车次接续约束条件、交路约束条件;

基于发车间隔差异目标函数和车底使用目标函数拟定协同优化模型函数 Z ,其中 $\min Z = \omega_1 Z_1 + \omega_2 Z_2$, ω_1 为目标函数 Z_1 的权重系数, ω_2 为目标函数 Z_2 的权重系数;

基于约束条件,对发车间隔差异目标函数 Z_1 和车底出入库次数目标函数 Z_2 求解,进而对协同优化模型函数 Z 求解,得到时刻表与车底运用计划方案数据。

2. 如权利要求1所述的方法,其特征在于:所述拟定发车间隔差异目标函数 Z_1 可被表示为:

$$Z_1 = \sum_{i \in I} |h_i - \bar{h}| + \sum_{j \in J} |h_j - \bar{h}|;$$

其中: I 为上行车次集合, J 为下行车次集合, i 表示某上行车次, j 表示某下行车次;

h_i 表示车次 i 的发车时间间隔, h_j 表示车次 j 的发车时间间隔, \bar{h} 表示大交路和小交路整体运行时段内的平均发车间隔;

$$\bar{h} = (T_{end} - T_{sta}) / (N_s + N_f - 1);$$

$[T_{sta}, T_{end}]$ 为待优化时间段, T_{sta} 为待优化时间段开始时间, T_{end} 为待优化时间段终止时间;

N_s 为小交路车次数量, N_f 为大交路车次数量。

3. 如权利要求2所述的方式,其特征在于:所述发车间隔差异目标函数需满足发车间隔约束条件,所述发车间隔约束条件包括以下约束条件之一或组合:

共线区段车次始发时间与终到时间约束条件:

$$\begin{cases} d_i = T_{sta} + \sum_{i'=1}^i h_{i'}, \forall i \in I \\ a_i = d_i + r_c^{up}, \forall i \in I \\ d_j = T_{sta} + \sum_{j'=1}^j h_{j'}, \forall j \in J \\ a_j = d_j + r_c^{dn}, \forall j \in J \end{cases};$$

其中, d_i 为车次 i 在共线区段的发车时间, a_i 为车次 i 在共线区段的终到时间, d_j 为车次 j 在共线区段的发车时间, a_j 为车次 j 在共线区段的终到时间, r_c^{up} 为共线区段上行旅行时间, r_c^{dn} 为共线区段下行的旅行时间;

任一车次发车时间的约束条件:

$$\begin{cases} T_{sta} + \sum_{i \in I} h_i \leq T_{end} \\ T_{sta} + \sum_{j \in J} h_j \leq T_{end} \end{cases};$$

车次的发车间隔取值约束条件:

$$\begin{cases} h_{\min} \leq h_i \leq h_{\max}, \forall i \in I \\ h_{\min} \leq h_j \leq h_{\max}, \forall j \in J \end{cases};$$

其中, h_{\min} 为车次的最小发车间隔时间, h_{\max} 为车次最大发车间隔时间。

4. 如权利要求1所述的方式, 其特征在于: 所述车底出入库次数目标函数 Z_2 可被表示为:

$$Z_2 = \sum_{i \in I} (1 - \gamma_i) + \sum_{j \in J} (1 - \gamma_j);$$

其中: I 为上行车次集合, J 为下行车次集合, i 表示某上行车次, j 表示某下行车次;

γ_i, γ_j 为变量, 若车次 i, j 的车底不来自车场, 则变量取1, 否则变量取0。

5. 如权利要求4所述的方式, 其特征在于: 所述车底使用目标函数应满足车次接续约束条件, 所述约束条件包括:

车次的接续关系约束条件:

$$\begin{cases} \eta_i = \sum_{j \in J, j \geq i} \alpha_i^j, \forall i \in I \\ \gamma_j = \sum_{i \in I, i \leq j} \alpha_i^j, \forall j \in J \\ \eta_j = \sum_{i \in I, i \geq j} \beta_j^i, \forall j \in J \\ \gamma_i = \sum_{j \in J, j \leq i} \beta_j^i, \forall i \in I \end{cases};$$

其中:

α_i^j 为变量, 若上行车次 i 与下行车次 j 产生车底接续, α_i^j 取1, 否则变量取0;

β_j^i 为变量, 若下行车次 j 与上行车次 i 产生车底接续, β_j^i 取1, 否则变量取0;

η_i, η_j 为变量, $\eta_i = 1$ 时, 表示上行车次 i 不进入车场, 否则, 表示车次 i 进入车场, $\eta_j = 1$ 时, 表示下行车次 j 不进入车场, 否则, 表示车次 j 进入车场。

6. 如权利要求4或5所述的方式, 其特征在于: 所述车次接续约束条件进一步包括以下约束条件之一或组合:

车次接续关系和折返作业时间约束条件:

$$\begin{cases} 0 \leq \sum_{j \in J, j \geq i} \alpha_i^j \leq 1, \forall i \in I \\ 0 \leq \sum_{i \in I, i \leq j} \alpha_i^j \leq 1, \forall j \in J \\ 0 \leq \sum_{i \in I, i \geq j} \beta_j^i \leq 1, \forall j \in J \\ 0 \leq \sum_{j \in J, j \leq i} \beta_j^i \leq 1, \forall i \in I \end{cases};$$

车次间的交路类型约束条件, 当所述交路类型相同时, 车次产生接续:

$$\begin{cases} \alpha_i^j \leq 1 - \delta_i + \delta_j, \forall i \in I, \forall j \in J, j \geq i \\ \alpha_i^j \leq 1 - \delta_j + \delta_i, \forall i \in I, \forall j \in J, j \geq i \\ \beta_j^i \leq 1 - \delta_i + \delta_j, \forall j \in J, \forall i \in I, i \geq j ; \\ \beta_j^i \leq 1 - \delta_j + \delta_i, \forall j \in J, \forall i \in I, i \geq j \end{cases}$$

车次间的接续时间约束条件,当满足所述接续条件时,车次产生接续:

$$\begin{cases} \alpha_i^j - (1 - \alpha_i^j)M \leq \frac{d_j - a_i - \delta_i r_{up}^{dn}}{b_{\min}}, \\ \quad \forall i \in I, \forall j \in J, j \geq i \\ \beta_i^j - (1 - \beta_i^j)M \leq \frac{d_i - a_j - \delta_j r_{dn}^{up}}{b_{\min}}, \\ \quad \forall j \in J, \forall i \in I, i \geq j \end{cases};$$

其中, δ_i 、 δ_j 为变量,若车次i、车次j为大交路,则变量取1,若为小交路,则变量取0;M为极大值;

r_{up}^{dn} 为非共线区段上行转下行的总旅行时间,包括从共线区段终到站到非共线区段终到站和从非共线区段终到站到共线区段终到站的旅行时间, r_{dn}^{up} 为非共线区段下行转上行的总旅行时间;

b_{\min} 为折返作业时间最小值。

7.如权利要求2至6中任意一项所述的方式,其特征在于:所述交路约束条件为:

各交路类型车次数量应与设定相符

$$\begin{cases} \sum_{i \in I} \delta_i = N_f \\ \sum_{i \in I} (1 - \delta_i) = N_s \\ \sum_{j \in J} \delta_j = N_f \\ \sum_{j \in J} (1 - \delta_j) = N_s \end{cases};$$

其中, δ_i 、 δ_j 为变量,若车次i、车次j为大交路,则变量取1,若为小交路,则变量取0; N_s 为小交路车次数量, N_f 为大交路车次数量。

8.如权利要求2所述的方式,其特征在于:进一步包括以下步骤,对 Z_1 进行线性化处理,处理后的 Z_1 被表示为:

$$\begin{aligned} Z_1 = & \sum_{i \in I} [(2\lambda_i - 1)\bar{h} + h_i - 2\mu_i] \\ & + \sum_{j \in J} [(2\lambda_j - 1)\bar{h} + h_j - 2\mu_j]; \end{aligned}$$

其中, λ_i 为变量,当发车间隔时间小于平均发车间隔 \bar{h} , $\lambda_i=1$,反之为0;

$\mu_i = \lambda_i h_i$, $\mu_j = \lambda_j h_j$ 。

9.如权利要求1所述的方式,其特征在于:所述 ω_1 、 ω_2 符合以下条件:

$$\omega_1 = 1/Z_1^* ;$$

$$\omega_2 = 1/Z_2^* ;$$

其中, Z_1^* 为目标函数 Z_1 的最小值, Z_2^* 为目标函数 Z_2 的最小值。

考虑大小交路的时刻表和车底运用计划编制方法

技术领域

[0001] 本发明涉及列车智能运行计划编制技术领域,具体涉及一种考虑大小交路的时刻表和车底运用计划编制方法。

背景技术

[0002] 城市轨道交通作为一种安全,快捷,环保和高效的市内交通方式,成为越来越多市民出行的选择。近些年来,城市化进程不断加快,城市圈范围不断扩大,城市轨道交通不断出现线路延长、超长线路开通运营的情况,线路覆盖的空间范围不断扩大。然而,居民出行由于城市功能区域划分呈现不均衡性,导致城轨交通客流需求在时间和空间上的差异性。城轨运营者常采用大小交路开行方案来应对客流需求的差异性,在满足旅客运输需求的同时降低运营成本。大小交路计划是列车开行方案的重要组成部分,规定了各运营时段内不同交路类型的列车开行对数。

[0003] 列车时刻表作为运行计划的重要组成部分,规定了各个车次在车站等设施的出发、到达或者通过时间,是城市轨道交通组织的基础。列车时刻表编制过程中需要根据大小交路计划合理安排不同交路类型车次的开行次序和开行间隔。另一方面,车底计划是运行计划的另一重要组成部分,规定了各车底承担的车次运输任务,该过程安排在时刻表制定之后。车底运用计划需要根据车次的交路类型来调整中间和终端折返站的车底接续关系。因此,大小交路开行方案作为平衡线路客流时空差异的有效方法,对时刻表和车底运用计划的编制有了更高的要求。

[0004] 列车时刻表和车底计划是相互影响的,但是由于两者的高度复杂性以及目标的差异性,目前大多数工程方法与理论研究都将这两个过程作为独立的问题进行研究。两者的独立求解,常常会造成互相不匹配的情况,需要在编制过程中反复调整。对于包含大小交路开行方案的运输计划,时刻表与车底运用计划的编制变得更为复杂,两者的协同优化愈加困难。本专利针对该难题,提出了一种有效的考虑大小交路的时刻表与车底运用计划一体化编制方法,在保证方案可行性的同时提升时刻表服务质量和降低车底运用成本。

发明内容

[0005] 本发明的目的在于提供一种列车时刻表和车底计划的一体化编制方法,尤其提供一种考虑大小交路城市轨道交通时刻表与车底计划的一体化编制方法,在综合考虑时刻表和车底运用计划约束的情况下,降低车底使用成本。

[0006] 为实现上述目的,在本发明一些实施例中,本发明采用的技术方案是:

[0007] 一种考虑大小交路的时刻表和车底运用计划编制方法,包括:

[0008] 针对大小交路运行列车,根据时刻表信息拟定发车间隔差异目标函数 Z_1 和车底出入库次数目标函数 Z_2 ;

[0009] 构建发车间隔约束条件、构建车次接续约束条件、构建交路约束条件;

[0010] 基于发车间隔差异目标函数和车底使用目标函数拟定协同优化模型函数 Z ,其中

$\min Z = \omega_1 Z_1 + \omega_2 Z_2$, ω_1 为目标函数 Z_1 的权重系数, ω_2 为目标函数 Z_2 的权重系数;

[0011] 基于约束条件,对发车间隔差异目标函数 Z_1 和车底出入库次数目标函数 Z_2 求解,进而对协同优化模型函数 Z 求解,得到时刻表与车底运用计划方案数据。

[0012] 本发明一些实施例中,所述拟定发车间隔差异目标函数 Z_1 可被表示为:

$$[0013] \quad Z_1 = \sum_{i \in I} |h_i - \bar{h}| + \sum_{j \in I} |h_j - \bar{h}|;$$

[0014] 其中: I 为上行车次集合, J 为下行车次集合, i 表示某上行车次, j 表示某下行车次;

[0015] h_i 表示车次 i 的发车时间间隔, h_j 表示车次 j 的发车时间间隔, \bar{h} 表示大交路和小交路整体运行时段内的平均发车间隔;

$$[0016] \quad \bar{h} = (T_{\text{end}} - T_{\text{sta}}) / (N_s + N_f - 1);$$

[0017] $[T_{\text{sta}}, T_{\text{end}}]$ 为待优化时间段, T_{sta} 为待优化时间段开始时间, T_{end} 为待优化时间段终止时间;

[0018] N_s 为小交路车次数量, N_f 为大交路车次数量。

[0019] 所述发车间隔差异目标函数需满足发车间隔约束条件,所述发车间隔约束条件包括以下约束条件之一或组合:

[0020] 共线区段车次始发时间与终到时间约束条件:

$$[0021] \quad \begin{cases} d_i = T_{\text{sta}} + \sum_{i=1}^i h_i, \forall i \in I \\ a_i = d_i + r_c^{\text{up}}, \forall i \in I \\ d_j = T_{\text{sta}} + \sum_{j=1}^j h_j, \forall j \in I \\ a_j = d_j + r_c^{\text{dn}}, \forall j \in I \end{cases};$$

[0022] 其中, d_i 为车次 i 在共线区段的发车时间, a_i 为车次 i 在共线区段的终到时间, d_j 为车次 j 在共线区段的发车时间, a_j 为车次 j 在共线区段的终到时间, r_c^{up} 为共线区段上行旅行时间, r_c^{dn} 为共线区段下行的旅行时间;

[0023] 任一车次发车时间的约束条件:

$$[0024] \quad \begin{cases} T_{\text{sta}} + \sum_{i \in I} h_i \leq T_{\text{end}} \\ T_{\text{sta}} + \sum_{j \in I} h_j \leq T_{\text{end}} \end{cases};$$

[0025] 车次的发车间隔取值约束条件:

$$[0026] \quad \begin{cases} h_{\min} \leq h_i \leq h_{\max}, \forall i \in I \\ h_{\min} \leq h_j \leq h_{\max}, \forall j \in I \end{cases};$$

[0027] 其中, h_{\min} 为车次的最小发车间隔时间, h_{\max} 为车次最大发车间隔时间。

[0028] 本发明一些实施例中,所述车底出入库次数目标函数 Z_2 可被表示为:

$$[0029] \quad Z_2 = \sum_{i \in I} (1 - \gamma_i) + \sum_{j \in I} (1 - \gamma_j);$$

- [0030] 其中:I为上行车次集合,J为下行车次集合,i表示某上行车次,j表示某下行车次;
 [0031] γ_i, γ_j 为变量,若车次i,j的车底不来自车场,则变量取1,否则变量取0。
 [0032] 本发明一些实施例中,所述车底使用目标函数应满足车次接续约束条件,所述约束条件包括:

[0033] 车次的接续关系约束条件:

$$[0034] \begin{cases} \eta_i = \sum_{j \in J, j \geq i} \alpha_i^j, \forall i \in I \\ \gamma_j = \sum_{i \in I, i \leq j} \alpha_i^j, \forall j \in J \\ \eta_j = \sum_{i \in I, i \geq j} \beta_j^i, \forall j \in I; \\ \gamma_i = \sum_{j \in J, j \leq i} \beta_j^i, \forall i \in I \end{cases};$$

[0035] 其中:

[0036] α_i^j 为变量,若上行车次i与下行车次j产生车底接续, α_i^j 取1,否则变量取0;

[0037] β_j^i 为变量,若下行车次j与上行车次i产生车底接续, β_j^i 取1,否则变量取0;

[0038] η_i, η_j 为变量, $\eta_i=1$ 时,表示上行车次i不进入车场,否则,表示车次i进入车场, $\eta_j=1$ 时,表示下行车次j不进入车场,否则,表示车次j进入车场。

[0039] 如果上行车次i与下行车次j产生车底接续, $\sum_{j \in J, j \geq i} \alpha_i^j = 1$ 和 $\sum_{i \in I, i \leq j} \alpha_i^j = 1$ 成立,则上行车次i的车底不进入车场 $\eta_i=1$,下行车次j的车底不来自车场 $\gamma_j=1$,反之则否。

[0040] 本发明一些实施例中,所述车次接续约束条件进一步包括以下约束条件之一或组合:

[0041] 车次接续关系和折返作业时间约束条件:

$$[0042] \begin{cases} 0 \leq \sum_{j \in J, j \geq i} \alpha_i^j \leq 1, \forall i \in I \\ 0 \leq \sum_{i \in I, i \leq j} \alpha_i^j \leq 1, \forall j \in J \\ 0 \leq \sum_{i \in I, i \geq j} \beta_j^i \leq 1, \forall j \in J; \\ 0 \leq \sum_{j \in J, j \leq i} \beta_j^i \leq 1, \forall i \in I \end{cases};$$

[0043] 车次间的交路类型约束条件,当所述交路类型相同时,车次产生接续:

$$[0044] \begin{cases} \alpha_i^j \leq 1 - \delta_i + \delta_j, \forall i \in I, \forall j \in J, j \geq i \\ \alpha_i^j \leq 1 - \delta_j + \delta_i, \forall i \in I, \forall j \in J, j \geq i \\ \beta_j^i \leq 1 - \delta_i + \delta_j, \forall j \in J, \forall i \in I, i \geq j; \\ \beta_j^i \leq 1 - \delta_j + \delta_i, \forall j \in J, \forall i \in I, i \geq j \end{cases};$$

[0045] 车次间的接续时间约束条件,当满足所述接续条件时,车次产生接续:

$$[0046] \quad \begin{cases} \alpha_i^j - (1 - \alpha_i^j)M \leq \frac{d_j - a_i - \delta_i r_{up}^{dn}}{b_{\min}}, \\ \quad \forall i \in I, \forall j \in J, j \geq i \\ \beta_i^j - (1 - \beta_i^j)M \leq \frac{d_i - a_j - \delta_j r_{dn}^{up}}{b_{\min}}, \\ \quad \forall j \in J, \forall i \in I, i \geq j \end{cases};$$

[0047] 其中, δ_i, δ_j 为变量, 若车次 i 、车次 j 为大交路, 则变量取 1, 若为小交路, 则变量取 0; M 为极大值;

[0048] r_{up}^{dn} 为非共线区段上行转下行的总旅行时间, 包括从共线区段终到站到非共线区段终到站和从非共线区段终到站到共线区段终到站的旅行时间, r_{dn}^{up} 为非共线区段下行转上行的总旅行时间;

[0049] b_{\min} 为折返作业时间最小值。

[0050] 本发明一些实施例中, 所述交路约束条件为:

[0051] 各交路类型车次数量应与设定相符

$$[0052] \quad \begin{cases} \sum_{i \in I} \delta_i = N_f \\ \sum_{i \in I} (1 - \delta_i) = N_s \\ \sum_{j \in J} \delta_j = N_f \\ \sum_{j \in J} (1 - \delta_j) = N_s \end{cases};$$

[0053] 其中, δ_i, δ_j 为变量, 若车次 i 、车次 j 为大交路, 则变量取 1, 若为小交路, 则变量取 0; N_s 为小交路车次数量, N_f 为大交路车次数量。

[0054] 本发明一些实施例中, 进一步包括以下步骤, 对 Z_1 进行线性化处理, 处理后的 Z_1 被表示为:

$$[0055] \quad \begin{aligned} Z_1 = & \sum_{i \in I} [(2\lambda_i - 1)\bar{h} + h_i - 2\mu_i] \\ & + \sum_{j \in J} [(2\lambda_j - 1)\bar{h} + h_j - 2\mu_j]; \end{aligned}$$

[0056] 其中, λ_i 为变量, 当发车间隔时间小于平均发车间隔 \bar{h} , $\lambda_i = 1$, 反之为 0;

[0057] $\mu_i = \lambda_i h_i, \mu_j = \lambda_j h_j$ 。

[0058] 本发明一些实施例中, 所述 ω_1, ω_2 符合以下条件:

[0059] $\omega_1 = 1/Z_1^*$;

[0060] $\omega_2 = 1/Z_2^*$;

[0061] 其中, Z_1^* 为目标函数 Z_1 的最小值, Z_2^* 为目标函数 Z_2 的最小值。

[0062] 较现有技术相比, 本发明一些实施例中, 提供的列车速度优化控制方法及系统的有益效果在于:

[0063] 1) 综合考虑大小交路计划对时刻表与车底运用计划编制的影响,提出一体化编制方法,从而避免了传统编制过程中将时刻表与车底运用计划作为两个独立过程进行编制出现的反复修改问题;

[0064] 2) 通过调整发车间隔车底接续,在满足时刻表和车底运用计划约束的同时,降低车底使用数量,提高旅客服务质量;

[0065] 3) 构建混合整数线性规划模型,提高问题求解效率。

附图说明

[0066] 为了更清楚地说明本发明实施例中的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动性的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0067] 图1为本发明时刻表与车底运用计划智能规划方法的流程图;

[0068] 图2为时刻表与车底运用计划方案数据图;

[0069] 图中:

[0070] 1-始发站,2-第一折返站,3-第二折返站,4-终点站。

具体实施方式

[0071] 为了使本发明所要解决的技术问题、技术方案及有益效果更加清楚明白,以下结合附图及实施例,对本发明进行进一步详细说明。应当理解,此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明,并不用于限定本发明。

[0072] 本发明提供一种考虑大小交路的轨道车辆时刻表和车底运用计划规划方法,可用于城轨车辆的调度运营计划的编制。

[0073] 参考图1,考虑大小交路的轨道车辆时刻表和车底运用计划规划方法,包括以下步骤。

[0074] S1:针对大小交路运行列车,根据时刻表信息,建立发车间隔差异目标函数 Z_1 和车底使用目标函数 Z_2 。

[0075] 具体的而说,在大小交路下,始发站、终点站、折返站(至少一个),以及列车的部分时刻表信息是既定的,例如,待优化时间段、共线区段上行旅行时间、共线区段下行旅行时间、共线区段实发时间、共线区段终到时间等信息,约束条件中所需的时刻表信息,均可通过计划编制前获得。这些信息将作为后续方案编制的约束条件。而轨道车辆时刻表和车底运用计划规划的目标,是降低发车间隔差异,在保证运营力的条件下,降低车底使用数量,使运营车辆的效能发挥到最优。因此,利用已知的时刻表信息来建立降低发车间隔差异和车底使用数量的优化目标函数。

[0076] 拟定发车间隔差异目标函数 Z_1 可被表示为:

$$[0077] \quad Z_1 = \sum_{i \in I} |h_i - \bar{h}| + \sum_{j \in J} |h_j - \bar{h}|;$$

[0078] 其中: I 为上行车次集合, J 为下行车次集合, i 表示某上行车次, j 表示某下行车次;

[0079] h_i 表示上行车次 i 的发车时间间隔, h_j 表示下行车次 j 的发车时间间隔, \bar{h} 表示大交

路和小交路整体运行时段内的平均发车间隔,等于总运行时间除以总车次数,其中总车次数为大交路运营车辆数量和小交路运营车辆数量的和;

$$[0080] \quad \bar{h} = (T_{end} - T_{sta}) / (N_s + N_f - 1);$$

[0081] $[T_{sta}, T_{end}]$ 为待优化时间段, T_{sta} 为待优化时间段开始时间, T_{end} 为待优化时间段终止时间,这部分可以根据需要设定;

[0082] N_s 为小交路车次数, N_f 为大交路车次数。

[0083] 所述车底出入库次数目标函数 Z_2 可被表示为:

$$[0084] \quad Z_2 = \sum_{i \in I} (1 - \gamma_i) + \sum_{j \in J} (1 - \gamma_j);$$

[0085] 其中: I 为上行车次集合, J 为下行车次集合, i 表示某上行车次, j 表示某下行车次;

[0086] γ_i, γ_j 为变量,若车次 i, j 的车底不来自车场,则变量取1,否则变量取0。

[0087] 模型线性化处理并求解。在模型之中仅目标函数是非线性的,约束条件均是线性的,因此要将原优化模型重构为混合整数线性规划模型,对目标函数中的 Z_1 部分进行线性化处理 (Z_2 为线性的,不需要进行处理)。本发明一些实施例中,进一步包括以下步骤,对 Z_1 进行线性化处理,处理后的 Z_1 被表示为:

$$[0088] \quad Z_1 = \sum_{i \in I} [(2\lambda_i - 1)\bar{h} + h_i - 2\mu_i] + \sum_{j \in J} [(2\lambda_j - 1)\bar{h} + h_j - 2\mu_j];$$

[0089] 其中, λ_i 为变量,当发车间隔时间小于平均发车间隔 \bar{h} , $\lambda_i = 1$,反之为0;

[0090] μ_i 和 μ_j 为辅助变量:

[0091] $\mu_i = \lambda_i h_i, \mu_j = \lambda_j h_j$ 。

[0092] S2: 构建发车间隔约束条件。

[0093] 发车间隔约束条件时针对列车时刻表的约束条件,主要包括以下几个约束条件之一或组合。

[0094] (1) 共线区段车次始发时间与终到时间约束条件:

$$[0095] \quad \begin{cases} d_i = T_{sta} + \sum_{i=1}^i h_i, \forall i \in I \\ a_i = d_i + r_c^{up}, \forall i \in I \\ d_j = T_{sta} + \sum_{j=1}^j h_j, \forall j \in J \\ a_j = d_j + r_c^{dn}, \forall j \in J \end{cases};$$

[0096] 其中, d_i 为车次 i 在共线区段的发车时间, a_i 为车次 i 在共线区段的终到时间。 d_j 为车次 j 在共线区段的发车时间, a_j 为车次 j 在共线区段的终到时间。 r_c^{up} 为共线区段上行旅行时间, r_c^{dn} 为共线区段下行的旅行时间,可以通过牵引计算或实验获得,在编制计划前获得。

[0097] (2) 任一车次发车时间的约束条件,均应在优化时间段内:

$$[0098] \quad \begin{cases} T_{sta} + \sum_{i \in I} h_i \leq T_{end} \\ T_{sta} + \sum_{j \in I} h_j \leq T_{end} \end{cases};$$

[0099] 车次的发车间隔取值约束条件,各相邻车次之间的发车间隔取值应当在合理的区间内:

$$[0100] \quad (3) \quad \begin{cases} h_{\min} \leq h_i \leq h_{\max}, \forall i \in I \\ h_{\min} \leq h_j \leq h_{\max}, \forall j \in I \end{cases};$$

[0101] 其中, h_{\min} 为车次的最小发车间隔时间,根据信号系统和线路的条件决定, h_{\max} 为车次最大发车间隔时间,根据旅客的需求决定。两个时间值均在编制计划前获得。

[0102] S3:构建车次接续约束条件。

[0103] 本发明一些实施例中,所述车底使用目标函数应满足车次接续约束条件,所述约束条件包括以下约束条件之一或组合:

[0104] (4) 车次接续关系和折返作业时间约束条件:具体的说,车底作业计划约束主要体现在对于车次接续关系和折返作业时间的约束。车次在运行过程中至多只能与另一趟车次进行接续:

$$[0105] \quad \begin{cases} 0 \leq \sum_{j \in J, j \geq i} \alpha_i^j \leq 1, \forall i \in I \\ 0 \leq \sum_{i \in I, i \leq j} \alpha_i^j \leq 1, \forall j \in J \\ 0 \leq \sum_{i \in I, i \geq j} \beta_j^i \leq 1, \forall j \in J; \\ 0 \leq \sum_{j \in J, j \leq i} \beta_j^i \leq 1, \forall i \in I \end{cases};$$

[0106] 其中, $i \geq j$ 及 $i \leq j$ 规范了约束条件起作用的范围。

[0107] (5) 车次的接续关系约束条件:

$$[0108] \quad \begin{cases} \eta_i = \sum_{j \in J, j \geq i} \alpha_i^j, \forall i \in I \\ \gamma_j = \sum_{i \in I, i \leq j} \alpha_i^j, \forall j \in J \\ \eta_j = \sum_{i \in I, i \geq j} \beta_j^i, \forall j \in I; \\ \gamma_i = \sum_{j \in J, j \leq i} \beta_j^i, \forall i \in I \end{cases};$$

[0109] 其中:

[0110] α_i^j 为变量,若上行车次 i 与下行车次 j 产生车底接续, α_i^j 取1,否则变量取0;

[0111] β_j^i 为变量,若下行车次 j 与上行车次 i 产生车底接续, β_j^i 取1,否则变量取0;

[0112] η_i 、 η_j 为变量, $\eta_i = 1$ 时,表示上行车次 i 不进入车场,否则(即不等于1),表示车次 i 进入车场, $\eta_j = 1$ 时,表示下行车次 j 不进入车场,否则(即不等于1),表示车次 j 进入车场。

γ_i 、 γ_j 为变量,若车次 i 、 j 的车底不来自车场,则变量取1,否则变量取0。以上变量可用于辅

助统计上行车辆和下行车辆进入车场的次数。

[0113] 具体的说,如果上行车次*i*与下行车次*j*产生车底接续, $\sum_{j \in J, j \geq i} \alpha_i^j = 1$ 和 $\sum_{i \in I, i \leq j} \alpha_i^j = 1$ 成立,则 $\eta_i = 1$,上行车次*i*的车底不进入车场,下行车次*j*的车底不来自车场, $\gamma_i = 1$,反之则否。下行车次*j*与上行车次*i*的车底接续关系与下行车次*j*和上行车次*i*的车底进出场存在同样的关系。

[0114] (6) 车次间的交路类型约束条件,当所述交路类型相同时,车次产生接续:

$$[0115] \quad \begin{cases} \alpha_i^j \leq 1 - \delta_i + \delta_j, \forall i \in I, \forall j \in J, j \geq i \\ \alpha_i^j \leq 1 - \delta_j + \delta_i, \forall i \in I, \forall j \in J, j \geq i \\ \beta_j^i \leq 1 - \delta_i + \delta_j, \forall j \in J, \forall i \in I, i \geq j; \\ \beta_j^i \leq 1 - \delta_j + \delta_i, \forall j \in J, \forall i \in I, i \geq j \end{cases}$$

[0116] (7) 车次间的接续时间约束条件,当满足所述接续条件时,车次产生接续:

$$[0117] \quad \begin{cases} \alpha_i^j - (1 - \alpha_i^j)M \leq \frac{d_j - a_i - \delta_i r_{up}^{dn}}{b_{\min}}, \\ \quad \forall i \in I, \forall j \in J, j \geq i \\ \beta_j^i - (1 - \beta_j^i)M \leq \frac{d_i - a_j - \delta_j r_{dn}^{up}}{b_{\min}}, \\ \quad \forall j \in J, \forall i \in I, i \geq j \end{cases}$$

[0118] 其中, δ_i, δ_j 为变量,若车次*i*、车次*j*为大交路,则变量取1,若为小交路,则变量取0; M 为极大值,极大正值是一个数学概念,在编程中为环境能表示的最大值。

[0119] r_{up}^{dn} 为非共线区段上行转下行的总旅行时间,包括从共线区段终到站到非共线区段终到站和从非共线区段终到站到共线区段终到站的旅行时间, r_{dn}^{up} 为非共线区段下行转上行的总旅行时间。

[0120] b_{\min} 为折返作业时间最小值。

[0121] 除以上约束条件外,约束条件还包括交路约束条件。本发明一些实施例中,所述交路约束条件为:

[0122] (8) 各交路类型车次数应量应与设定相符:

$$[0123] \quad \begin{cases} \sum_{i \in I} \delta_i = N_f \\ \sum_{i \in I} (1 - \delta_i) = N_s \\ \sum_{j \in J} \delta_j = N_f \\ \sum_{j \in J} (1 - \delta_j) = N_s \end{cases};$$

[0124] 其中, δ_i, δ_j 为变量,若车次*i*、车次*j*为大交路,则变量取1,若为小交路,则变量取0; N_s 为小交路车次数, N_f 为大交路车次数。即,编制方案的列车大交路车辆运行数量 N_f 和

小交路运行数量 N_s 应与给定的大小交路数量相同。

[0125] S4:基于发车间隔差异目标函数和车底出入库次数目标函数拟定协同优化模型函数 Z ,其中 $\min Z = \omega_1 Z_1 + \omega_2 Z_2$, ω_1 为目标函数 Z_1 的权重系数, ω_2 为目标函数 Z_2 的权重系数。

[0126] 本发明一些实施例中,将各单目标最优化的倒数取作权重系数,所述 ω_1 、 ω_2 符合以下条件:

$$[0127] \quad \omega_1 = 1/Z_1^* ;$$

$$[0128] \quad \omega_2 = 1/Z_2^* ;$$

[0129] 其中, Z_1^* 为目标函数 Z_1 的最小值, Z_2^* 为目标函数 Z_2 的最小值。

[0130] S5:基于约束条件,对发车间隔差异目标函数 Z_1 和车底出入库次数目标函数 Z_2 求解,进而对协同优化模型函数 Z 求解,得到时刻表与车底运用计划方案数据。

[0131] 本发明中选用开源求解器lpsolve进行求解。通过构建混合整数线性规划模型,并通过高效的开源求解器lpsolve进行求解,可提高问题求解效率。

[0132] S5:进一步的,可以对求解结果数据进行优化,并输出。

[0133] 采用本发明提供的方法进行列车运营计划编制的列车运行图如图2所示。图2的横轴是城轨线路全天运营时段,纵轴为车站,按大小交路情况,车站包括始发站1、第一折返站2、第二折返站3和终点站4。由图2可见,考虑了相关约束条件,同时考虑了车辆的大小交路后,车底在始发站1、第一折返站2、第二折返站3和终点站4之间得到了充分利用,可提高列车运营效率。

[0134] 本发明考虑大小交路的城市轨道交通列车时刻表与车底运用计划协同优化模型;并针对协同优化模型的混合整数规划模型重构方法;在保证方案可行性的同时提升时刻表服务质量和降低车底运用成本。

[0135] 以上所述仅为本发明的较佳实施例而已,并不用以限制本发明,凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

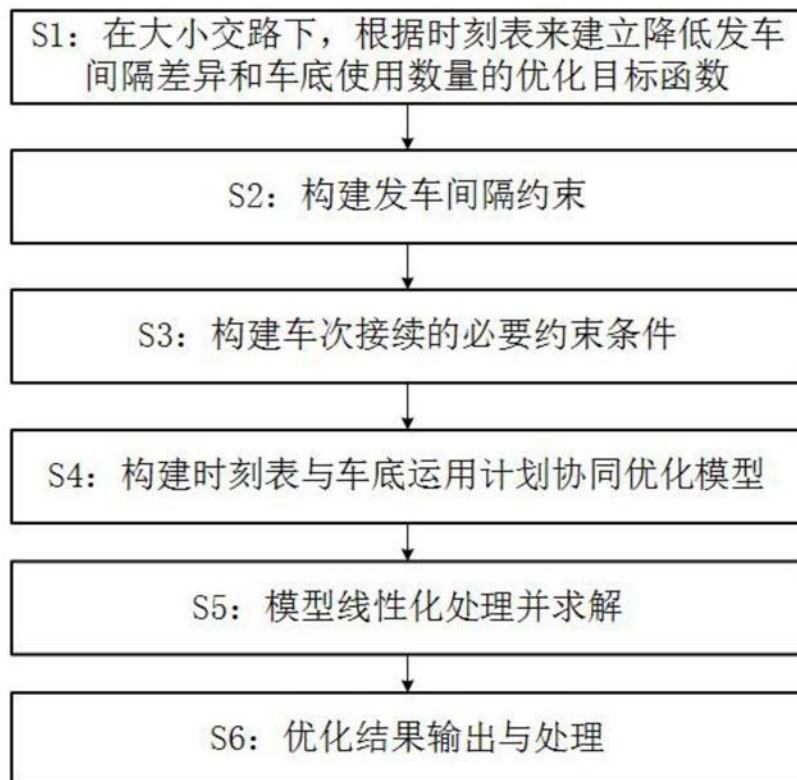


图1

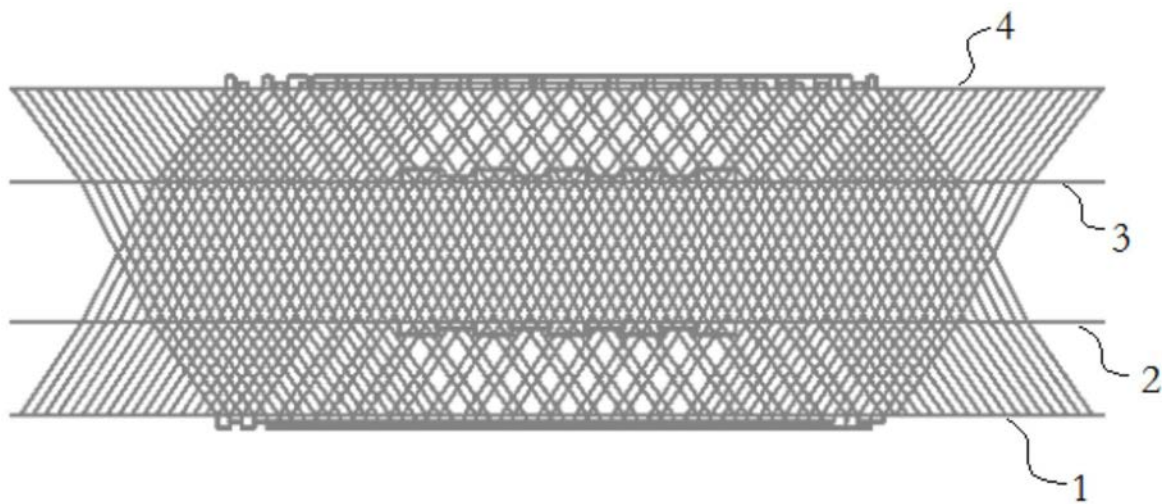


图2