

火车站股道和列检的问题

作者: [汤志高 hihihi@qq.com](mailto:hihihi@qq.com)

【摘要】: 本文通过建立 0-1 整数规划模型、目标规划模型研究解决列车股道与列检工作的统筹安排任务。

第一问使用“各股道车次总数”及“各股道列车停留总时间”表示各股道繁忙程度,在模型 I (i) 中给出具体表达式。

由于列车到站时间一定,股道安排属于 *NP* 类组合优化范畴,通过建立 0-1 非线性整数规划模型,以股道繁忙度尽量均衡且空闲时间尽量相同为目标,使用 *Lingo* 软件求解。*NP* 类计算复杂度简化: 本文通过分析各车次的进展时间关系,建立最小安全距集(见 4.2.1)降低规划复杂度,并转化空闲时间到约束中求解,最终得到局部最优解见 5.2.3。

列检队的安排方案本文通过目标规划模型表述,三层目标分别为各列检队跨股道数目尽量少,各列检队工作量基本一致,各列检队繁忙程度基本一致;在跨股道时间、条件限制与跨站点时间限制下利用计算机仿真求解(方案见 6.4 方案一),还考虑了交换目标层二、三的情况下给出了两种不同优势的安排方案(方案见 6.4 方案二),并对其二者可行性进行了分析。

在徐州站现行列车时刻方案下,安排人性化方案比较方便,本文通过建立启发式算法,给出列检安排变化程度较小的具体吃饭时间与列检调整方案。

五组列检队基本能够满足现工作量需求,但不能达到最优的列检空闲段非常均衡的目的,本文最后通过改变个别“普客”的到站与离站时间,给出了最终列检方案。

关键字: 目标规划 *NP* 类组合优化 *Matlab* 仿真

1 问题重述

我国第六次铁路大提速已经于 2007 年 4 月 18 日正式展开。第六次铁路大提速在京哈、京沪、京广、京九、陇海、浙赣、兰新、广深、胶济等干线展开，列车运行最高时速达 200 公里，其中京哈、京广、京沪、胶济线部分区段时速将达到 250 公里。这次提速受到了大家的广泛关注，也为人们的出行带来了更大的方便。随着列车速度的提高，如何保证列车的安全运行也成了一个比较重大的问题。

徐州火车站（以下简称徐州站）作为一个非常重要的铁路枢纽，面临着更多的工作。徐州站共有 5 个站台，10 个股道。

列车提速后，徐州站的旅客列车的到发情况见附表一。其中，“到”表示列车到达徐州站的时间，“发”表示列车离开徐州站的时间，“股道”表示列车在站内所经过的股道，“停站时分”表示列车在徐州站停留的时间（单位：分钟）。

利用上面的信息，我们对以下两个问题进行研究。一般来讲，火车站是分白班和晚班进行工作的。为了简化问题，我们只对上午八点以后（包含八点）和晚上七点以前到达徐州站的列车进行分析。

问题一、股道的合理安排

1、研究各股道繁忙程度。

2、除了股道 6（股道 6 主要是直通车通过，且该股道上的列车没有旅客上下车、列检等需求）外，如果要使各股道的繁忙程度大致相同，而且空闲时间尽量均衡，如何调整各车次停留的股道。注意，由于股道 6 与站台没有直接相连，对于有旅客上下车的列车是不能停留在第 6 股道的。

问题二、旅客列车的列检问题

对于徐州站的列检工作，我们考虑安排 5 个作业队进行。

1、由于作业队在进行跨股道作业时，会有危险存在，故请你考虑，如何给 5 个作业队进行分工，才能使得每个作业队跨股道数目尽量地少。

2、如何对 5 个作业队进行分工，才能使得每个作业队跨股道数目尽量地少，且各个作业队的工作量（即列检的列车的数目）基本一致。

3、（1）在满足 2 中的条件下，如何使得各个作业队的繁忙程度基本相同（即不会出现某队在某时间段内没有进行任何工作，而其他作业队进行了很多列车的列检工作）；

（2）在满足 2 中的条件的前提下，如何给各个作业队安排出时间吃午饭，且吃饭时间尽量与人们的正常吃午饭时间一致（如 11:00—13:00，当然可以做适当的提前或延后）。要求各队的吃饭时间不小于 30 分钟。请给出各个作业队的具体吃饭时间。

如果你认为 5 个作业队不能在满足相关作业要求的前提下，完成相关列车的列检，请给出充足的理由，并考虑安排更多的队进行列检工作，解决上面的几个问题；或者考虑通过对个别列车（主要是普客）的进站时间进行适当的延迟后（则出站时间需要作相应的延迟），5 个作业队是否能完成相关列车的列检工作（可以认为对普客作出的进站时间延迟是由列车的晚点引起的）。（严格时间约束下重新安排列车模型）

2 模型假设

[1] 假设火车准时到达、准时发车；

[2] 不考虑火车长度，将火车抽象为质点考虑；

[3] 假设每此列间有一个工作队完成列检任务；

[4] 假设列检人员能在规定时间内准时到达指定工作岗位。

3 符号说明

- Ω_i^1 —— 表示车次繁忙度; Ω_i^2 —— 表示车次停留时间繁忙度;
 A_i —— 表示第 i 辆车的离站时间; B_t —— 表示第 t 辆车的到站时间;
 P_i —— 表示各目标的优先级别; N_j —— 各股道上需要列检的车次;
 f_{ij} —— 0-1 变量, 表示第 i 辆列车是否经过第 j 个股道;
 n_{ik} —— 表示第 i 个列检队在第 k 个车次间隔内跨股道的数目;
 L_{ikq} —— 表示第 i 个列检队检的第 k 、 q 辆车的车次时间间隔;
 S_{im} —— 表示第 i 辆车离站时间与第 m 辆车的到站时间的间隔;
 U_i —— 表示在第 i 辆列车之后最近一辆可与第 i 辆车停在同一股道的车;
 f_{ijk} —— 0-1 变量, 表示第 i 个列检队在第 j 个股道上是否对第 k 列车进行列检;
 w_{im} —— 0-1 变量, 表示第 i 辆车之后紧接着到达的第 m 辆车, $m=i+1$ 时, $w_{im}=1$ 。

4 股道的合理安排模型 (问题一)

本部分针对问题一建立了如下两模型:

模型 I (i): 通过研究“各股道车次总数”及“各股道列车停留总时间”两方面建立的分析各股道繁忙程度的模型。

模型 I (ii): 以“各股道繁忙程度尽量均衡”为目标建立的调整各车次停留股道的最优化模型。

4.0 模型准备——数据处理

通过 MATLAB 文件读取函数读取列车时刻表, 对 8:00 到 19:00 的数据进行初步处理, 主要步骤如下 (具体数据见附录 1.1):

- 0) 对所有时间进行转化, 都以当天 0 点为起始, 精确到分钟;
- 1) 除去 2 辆在徐州站不停的动车组, 安排于 6 股道;
- 2) 对 5 辆隔日发的两两时间相同的按一辆处理;
- 3) 修改未给出的到站与离站时间:
 - A) 徐州为始发站: 到站时间根据已知离站时间减去 30 分钟;
 - B) 徐州为终点站: 离站时间根据已知到站时间加 20 分钟;
- 4) 对所有列车重新排序, 按到站时间顺序。

4.1 “研究各股道繁忙程度模型”的建立与求解

4.1.1 模型 I (i) 分析

本模型为研究股道的繁忙程度, 一个股道的繁忙程度主要由以下两方面反映:

- 进入该股道的列车总数
- 进入该股道的列车停留的总时间

下面将分别就以上两方面进行分析，并通过归一化处理后得到股道综合繁忙度。

一、各股道列车总数分析

列车到站后须进入不同的股道，一个股道所经过的列车数越多则越繁忙，那么可将各股道经过的车次总数做为衡量各股道繁忙程度的标准。

引入 0-1 变量 f_{ij} 表示某辆到站车是否经过某股道，则：

$$f_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{.....第 } i \text{ 辆列车经过第 } j \text{ 个股道} \\ 0 & \text{.....否则} \end{cases}$$

根据题目要求仅对上午八点以后（包含八点）和晚上七点以前到达徐州站的列车进行分析，此短时间内共有 50 辆车经过徐州站，则经过第 j 个股道的列车总数为：

$$\sum_{j=1}^{50} f_{ij}$$

$$i = 1, 2, \dots, 10$$

二、各股道列车停留总时间分析

不同的列车停留在股道的时间不同，结合现实考虑，停留时间越长则旅客流量越大，且站点工作人员工作量大，即站点繁忙，那么可将各股道列车停留总时间做为衡量各股道繁忙程度的标准。

以 T_{ij} 表示第 i 辆列车在第 j 个站点的停留时间，则在第 j 个股道停留车次停留总时间为：

$$\sum_{j=1}^{50} T_{ij}$$

$$i = 1, 2, \dots, 10$$

【注】：当某一车次不经过某一站点时，即 $f_{ij} = 0$ ，该车停留时间为 0，即 $T_{ij} = 0$ 。

三、股道综合繁忙度分析

根据上面分析，股道繁忙程度主要从“进入该股道的列车总数”及“进入该股道的列车停留的总时间”两方面反映，此两方面都与股道繁忙程度呈线性正比关系，所以对两评价标准采用加权求和的处理方法。由于两者数量级不同，首先要对两评价标准进行归一化处理。

评价标准归一化处理

对“各股道列车总数”的归一化处理，采用各股道列车总数均比上所有经过徐州站的所有列车数，即车次繁忙度可表示为：

$$\Omega_i^1 = \frac{\sum_{j=1}^{50} f_{ij}}{\sum_{i=1}^{10} \sum_{j=1}^{50} f_{ij}}$$

$$i = 1, 2, \dots, 10$$

同理对“各股道列车停留总时间”进行归一化处理，可得车次停留时间繁忙度：

$$\Omega_i^2 = \frac{\sum_{j=1}^{50} T_{ij}}{\sum_{i=1}^{10} \sum_{j=1}^{50} T_{ij}}$$

$$i = 1, 2, \dots, 10$$

两项评价指标加权求和

设两者权值分别为 λ_1 、 λ_2 ，则对两者加权求和后做为评价股道繁忙度的标准，以 Ω_i 表示股道繁忙度，则：

$$\Omega_i = \lambda_1 \times \Omega_i^1 + \lambda_2 \times \Omega_i^2$$

$$i = 1, 2, \dots, 10$$

4.1.2 模型 I (i) 的建立

以“车次繁忙度”与“车次停留时间繁忙度”加权求和后做为评价股道繁忙程度的标准：

第 i 个股道的繁忙程度：

$$\Omega_i = \lambda_1 \times \Omega_i^1 + \lambda_2 \times \Omega_i^2$$

其中，车次繁忙度：

$$\Omega_i^1 = \frac{\sum_{j=1}^{50} f_{ij}}{\sum_{i=1}^{10} \sum_{j=1}^{50} f_{ij}}$$

车次停留时间繁忙度：

$$\Omega_i^2 = \frac{\sum_{j=1}^{50} T_{ij}}{\sum_{i=1}^{10} \sum_{j=1}^{50} T_{ij}}$$

$$i = 1, 2, \dots, 10$$

说明： f_{ij} —— 0-1 变量，表示某辆到站车是否经过某股道，经过时为 1。

T_{ij} —— 表示第 i 辆列车在第 j 个站点的停留时间。

4.1.3 模型 I (i) 的求解

根据上面模型求解出各股道“车次繁忙度（附表 1）”、“车次停留时间繁忙度（附表 2）”、“综合繁忙度表（表 1.1）”：

表 1.1 各股道综合繁忙度

股道号	1	2	3	4	5
繁忙度	0.1334	0.0982	0.0982	0.1328	0.0813
股道号	6	7	8	9	10
繁忙度	0.0105	0.1071	0.0963	0.1159	0.1262

将上述三指标绘成股道繁忙柱状图如下：

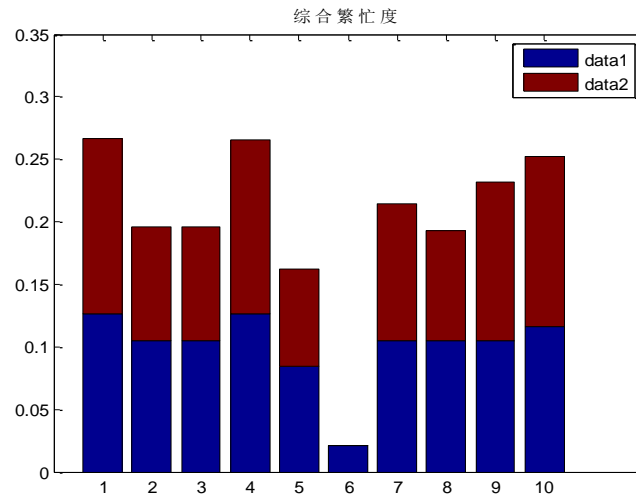


图 1.1 股道繁忙程度柱状图

其中，data1 表示车次繁忙度；data2 表示停留时间繁忙度。

图示分析：

[1] 由上图可直观看出第 1 股道最繁忙，其停车数量及停车总时间都最长；第 6 股道繁忙度最低，无列车停留。

[2] 由于第 6 股道不与站台相连不能上下旅客，所以只有不停的过路车才可从此股道通过，由此第 6 股道的繁忙度很低是合理的。

[3] 上图直观反映了股道的繁忙程度，可见剔除股道 6 后各股道繁忙程度仍然差距很大，基于此下面需要对各股道停留车次进行优化安排。

4.2 “调整各车次停留的股道模型”的建立与求解

4.2.1 模型 I (ii) 分析

本模型的目的是调整各车次的停留股道，使各股道的繁忙程度大致相同且空闲时间尽量均衡，由此考虑以繁忙程度、空闲时间都尽量均衡为目标建立最优化模型求最优解。

由于在所要研究的时间区间内有 2 辆不需要停车的动车组，为了减轻其余股道的繁忙度及充分利用不可上下旅客的第 6 股道，应让动车组的 2 辆列车全从第 6 股道通过，这样从其余 9 股道通过的列车共 48 辆，其中 4 辆隔日车，相当于 2 两每日车，所以计算时应只考虑 46 辆列车。

一、约束分析

(1) 两列车时间间隔约束

根据题目要求，同一股道上不能同时有两列车停留。要求同一股道上停留的两列车之间最小时间间隔为 10 分钟，则必须保证与第 i 辆列车间隔 10 分钟以内的车不能停留在第 i 辆列车停留的股道。

以 f_{ij} 表示第 i 辆车是否经过第 j 条股道， f_{kj} 表示与第 i 辆列车间隔 10 分钟以内的列车 k ，则两列车不能停留在同一股道可表示为：

$$f_{ij}f_{kj} = 0$$

$$i = 1, 2, \dots, 47, \quad j = 1, 2, \dots, 9, \quad k = (i+1), \dots, U_i$$

最小安全距集 U_i 的确定：

以 A_i 表示第 i 辆车的离站时间，以 B_t 表示第 t 辆车的到站时间，则所有可以与第 i 辆车停在同一股道的列车集合可表示为：

$$B_t - A_i - 10 > 0$$

$$t = (i+1), \dots, 48$$

U_i 表示在第 i 辆列车之后最近一辆可与第 i 辆列车停在同一股道的列车，即 U_i 应取上述集合中的最小值，即：

$$U_i = \text{Min}(t)$$

(2) 每辆列车仅通过一股道

每辆车应仅从一条股道经过，由于 f_{ij} 表示第 i 辆车是否经过第 j 条股道，则对任意一辆车而言经过且仅经过一条股道可表示为：

$$\sum_{j=1}^9 f_{ij} = 1$$

$$i = 1, 2, \dots, 48$$

二、目标分析

调整的主要目的为使各股道繁忙程度大致相同且空闲时间尽量均衡，基于问题一的分析，股道繁忙度分两部分，所以这里应分别讨论。

(1) 车次繁忙度尽量均衡

基于问题一的分析，仍以 0-1 变量 f_{ij} 表示第 i 辆车是否经过第 j 条股道，则各股道的繁忙度为：

$$\Omega_i^1 = \frac{\sum_{j=1}^{46} f_{ij}}{\sum_{i=1}^9 \sum_{j=1}^{46} f_{ij}}$$

$$i = 1, 2, \dots, 9$$

各股道的车次繁忙度均值：

$$E(\Omega_i^1) = \frac{\sum_{i=1}^9 \Omega_i^1}{9}$$

则各股道车次繁忙度尽量均衡可用各股道繁忙度与其均值的偏差总和尽量小来实现，即：

$$Min = \sum_{i=1}^9 |\Omega_i^1 - E(\Omega_i^1)|$$

(2) 车次停留时间繁忙度尽量均衡

基于问题一分析，加入筛选某辆车是否经过某股道的变量 f_{ij} ，则各股道车次停留时间繁忙度可重新表示为：

$$\Omega_i^2 = \frac{\sum_{j=1}^{46} f_{ij} T_{ij}}{\sum_{i=1}^9 \sum_{j=1}^{46} f_{ij} T_{ij}}$$

$$i = 1, 2, \dots, 9$$

各股道的车次停留时间繁忙度均值：

$$E(\Omega_i^2) = \frac{\sum_{i=1}^9 \Omega_i^2}{9}$$

则各股道车次停留时间繁忙度尽量均衡仍可采用各股道停留时间繁忙度与其均值的偏差总和尽量小来实现，即：

$$Min = \sum_{i=1}^9 |\Omega_i^2 - E(\Omega_i^2)|$$

(3) 空闲时间尽量相同

各股道空闲时间为在该股道停留的各车次之间的间隔之和，若要各股道空闲时间尽量均衡，则在该股道停留的各车次之间的间隔之和应尽量接近其均值。

若下标 i 表示第 i 辆车，下标 m 表示第 i 辆车之后到达的列车，即 $m \in (i+1, \dots, 46)$ ，引入 0-1 变量 w_{im} 表示第 i 辆车之后紧接着到达的第 m 辆车，且 $m=i+1$ 时， $w_{im}=1$ ，其余情况 $w_{im}=0$ ，即：

$$w_{im} = \begin{cases} 1 & \dots \sum_{q=i}^m f_{qj} = 2 \\ 0 & \dots \text{其它} \end{cases}$$

以 S_{im} 表示第 i 辆车离站时间与第 m 辆车的到站时间的间隔，则两辆紧接着先后到达的列车时间间隔为：

$$S_{im} w_{im}$$

由于是 46 列车需停留在 9 个股道上，则共有 $46 - 9 = 37$ 个间隔，以 c 表示所有股道上列车时间间隔之和，则各间隔的期望为 $c/37$ ，空闲时间尽量均衡为各间隔时间与间隔时间期望的偏差之和最小，即：

$$\text{Min} = \sum_{j=1}^9 \sum_{i=1}^{45} \sum_{m=i+1}^{46} \left| S_{im} w_{im} - \frac{c}{37} \right|$$

由于上面目标的数量级在 0-1 之间，因此需对“空闲时间尽量均衡”目标进行归一化处理如下：

$$\text{Min} = \frac{1}{c} \sum_{j=1}^9 \sum_{i=1}^{45} \sum_{m=i+1}^{46} \left| S_{im} w_{im} - \frac{c}{37} \right|$$

常数 c （总空闲时间）的计算

对于每个股道都有一个繁忙时间段，总繁忙时间 T 包括总空闲时间 c 和总停留时间 D 两部分。总繁忙时间为每个股道上最后一辆车的离开时刻 B_i 与第一列车到达时刻 A_i 差值的总和，其中各股道上第一辆车为所有列车中前 9 列到达最早的列车，各股道上最后一辆车为所有列车中离开最晚的列车，总繁忙时间 T 为：

$$T = \sum_{i=1}^9 (B_i - A_i) \quad \text{①}$$

各股道上的总停留时间为每一列车的停留时间总和，即：

$$D = \sum_{i=1}^9 \sum_{j=1}^{48} d_{ij} \quad \text{②}$$

则各股道上总空闲时间 c 为总繁忙时间 T 和总停留时间 D 的差值，即：

$$c = T - D \quad \text{③}$$

根据题目中提供的数据，联立①②③求解得： $c = 4957$

(4) 股道繁忙度尽量均衡且空闲时间尽量相同

股道繁忙度尽量均衡由车次繁忙度、车次停留时间繁忙度共同反映，加入空闲均衡性共有三个目标，由此考虑对各目标采取**加权求和的处理办法**。设三者权值分别为 γ_1 、 γ_2 、 γ_2 ，则对三者加权求和后求总偏差最小来实现股道总繁忙度尽量均衡且空闲时间尽量相同，即：

$$\text{Min} = \gamma_1 \sum_{i=1}^9 |\Omega_i^1 - E(\Omega_i^1)| + \gamma_2 \sum_{i=1}^9 |\Omega_i^2 - E(\Omega_i^2)| + \gamma_3 \frac{1}{c} \sum_{j=1}^9 \sum_{i=1}^{45} \sum_{m=i+1}^{46} \left| S_{im} w_{im} - \frac{c}{37} \right|$$

由于三目标对结果的影响程度相同，且对三目标的处理方法相同，则在本题计算时取权重相同，即取 $\gamma_1 = \gamma_2 = \gamma_2 = 1/3$ 。

4.2.2 模型 I (ii) 的建立

基于模型分析，以股道繁忙度尽量均衡且空闲时间尽量相同为目标建立调整各车次停留的股道最优化模型如下：

$$Min = \gamma_1 \sum_{i=1}^9 |\Omega_i^1 - E(\Omega_i^1)| + \gamma_2 \sum_{i=1}^9 |\Omega_i^2 - E(\Omega_i^2)| + \gamma_3 \frac{1}{c} \sum_{j=1}^9 \sum_{i=1}^{45} \sum_{m=i+1}^{46} \left| S_{im} w_{im} - \frac{c}{37} \right|$$

$$s.t. \begin{cases} f_{ij} f_{kj} = 0 & \dots i=1..47, j=1..9, k=(i+1) \dots U_i & \dots(1) \\ \sum_{j=1}^9 f_{ij} = 1 & \dots i=1..48 & \dots(2) \\ f_{ij} \in \{0,1\} & \dots i=1..48, j=1..9 & \dots(3) \end{cases}$$

其中，

$$U_i = Min(t) \\ s.t. \begin{cases} B_t - A_i - 10 > 0 \\ t = (i+1) \dots 48 \end{cases}$$

模型说明：

- (1) 两列车之间时间间隔小于 10 分钟的不能在同一股道停留；
- (2) 每辆列车仅通过一各股道；
- (3) f_{ij} 为 0-1 变量，表示某辆车是否经过某股道。

Ω_i^1 —— 表示车次繁忙度；

Ω_i^2 —— 表示车次停留时间繁忙度；

A_i —— 表示第 i 辆车的离站时间；

B_t —— 表示第 t 辆车的到站时间；

f_{ij} —— 表示第 i 辆列车是否经过第 j 个股道；

c —— 常数 4957，表示所有股道上列车时间间隔之和；

S_{im} —— 表示第 i 辆车离站时间与第 m 辆车的到站时间的间隔；

U_i —— 表示在第 i 辆列车之后最近一辆可与第 i 辆车停在同一股道的车；

w_{im} —— 表示第 i 辆车之后紧接着到达的第 m 辆车，且 $m=i+1$ 时， $w_{im}=1$ 。

4.2.3 模型 I (ii) 的求解

对于 NP 类计算复杂度的简化：通过分析各车次的进展时间关系，建立最小安全距离(见 4.2.1)降低规划复杂度，并转化空闲时间目标到约束中求解

根据 0-1 整数非线性模型 Lingo 求解出经过优化后(图 1.3)和各股道目前(图 1.2)“各股道通过列车数及各股道列车停留时间”柱状图如下：

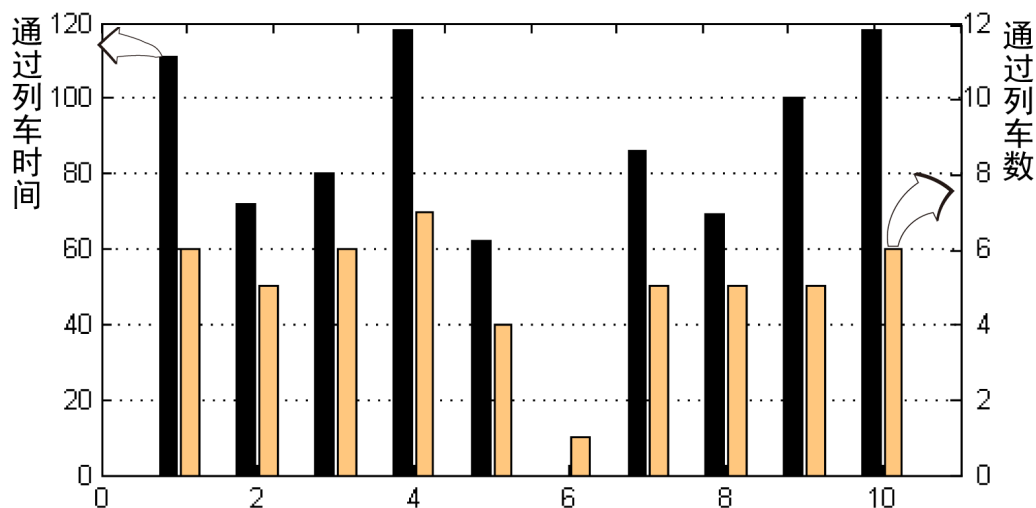


图 1.2 优化前各股道通过列车数，及各股道列车停留时间图

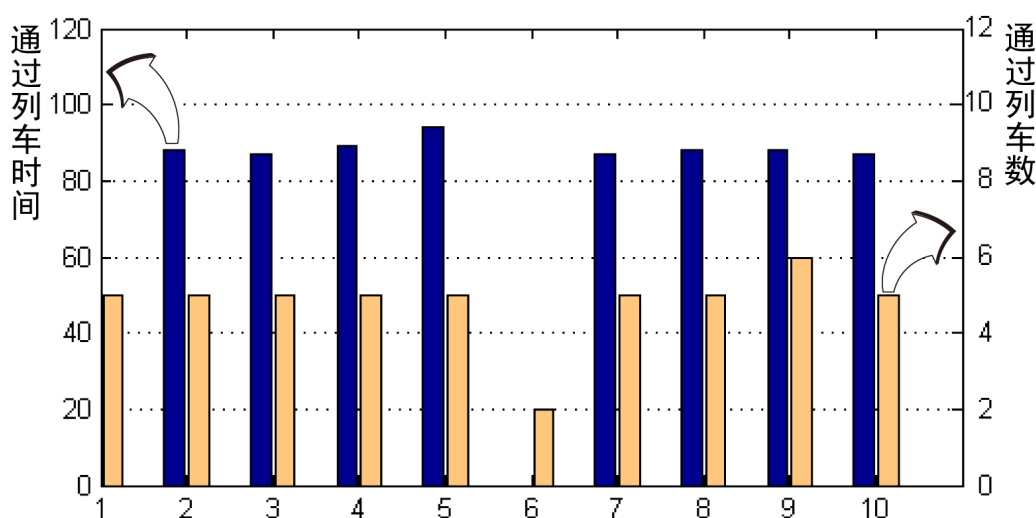


图 1.3 优化后各股道通过列车数，及各股道列车停留时间图

图示分析：

[1] 由图 2、图 3 对比可直观看出来经过优化后各股道通过列车数及各股道列车停留时间均较当前状态均匀。

[2] 优化前各股道列车数（不考虑第 6 股道）最少为 4，最多为 7，优化后最少为 5，最多为 6，可见通过模型计算得到的列车股道分配方案各股道的繁忙程度大致达到相同。

[3] 优化前各股道列车停留时间（不考虑第 6 股道）最短为 62 最长为 118，优化后最长为 94，最短为 87，可见通过模型计算得到的列车股道分配方案各股道的空闲时间达到尽量均衡。

[4] 由于第 6 股道不与站台相连，则只能过不停留的 2 辆动车组，所以其繁忙度与空闲时间与其它 9 个股道有较大差别，应分开考虑。

5 列检队分工问题模型（问题二）

本问共提出了三层目标，分别是“各列检队跨股道数目尽量少”、“各列检队工作量基本一致”、“各列检队繁忙程度基本一致”，三层目标优先级依次递减，在求解后一层目标时将上一层目标的最优求解结果作为下一层目标的刚性约束，由此，本问转化为目标规划问题。

5.0 模型准备——数据处理

由于列检队要提前到达需列检列车的站点，而且始发终点车辆处理也不同，故建立以下步骤进行数据处理（具体数据见附录 2.1）：

- 0) 对所有时间进行转化，都以当天 0 点为起始，精确到分钟；
- 1) 除去不需要列检的列车数据（停站小于 6 分钟，徐州为终点站，动车组，隔日两两相同的视为 1 辆）；
- 2) 对徐州为始发站的车辆列检时间为：离站时间减去 18 分钟到离站时间（以包括列检人员需提前到达的 3 分钟）；
- 3) 对停留时间大于等于 6 分钟小于等于 20 分钟车辆列检时间为：到站时间减去 3 分钟到离站时间（以包括列检人员需提前到达的 3 分钟）；
- 4) 对大于 20 分钟列车列检时间段分为 2 次：
 - A) 到站时间减去 3 分钟到到站时间加 10 分钟；
 - B) 离站时间减 13 分钟到离站时间。
- 5) 对所有列车重新排序，按列检时间顺序。

5.1 模型目标分析

一、目标分层分析

(1) 第一层目标“各列检队跨股道数目尽量少”分析

由于列检队在进行跨股道作业时，会有危险存在，所以本问模型第一目标主要从安全角度考虑，以每个作业队跨股道数目尽量少作为优先级别最高的模型目标。

基于模型准备，在简化时间内 5 个列检队共需检 35 辆车，共有 34 个车次间隔，以 n_{ik} 表示第 i 个列检队在第 k 个车次间隔内跨股道的数目，则各列检队跨股道数目尽量少可表示为：

$$\text{Min } Q_1 = \sum_{i=1}^5 \sum_{k=1}^{34} n_{ik}$$

(2) 第二层目标“各列检队工作量基本一致”分析

在满足第一层目标的基础上提出了优先级别第二的目标要求：使各列检队列检的车

数尽量相同。由于是 5 个列检队检 35 辆车，那么最均匀的列检方案为每队检 $35 / 5 = 7$ 辆车，由于受约束条件限制不可能完全达到这种分配方案，所以应使每队列检的车数尽量接近 7，即列检车数与 7 的绝对偏差最小。

引入 0-1 变量 f_{ijk} 表示第 i 个列检队是否检第 j 股道上的第 k 辆车，其中：

$$f_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{.....第 } i \text{ 个列检队检第 } j \text{ 个股道上的第 } k \text{ 辆车} \\ 0 & \text{.....其它} \end{cases}$$

则第 i 个列检队列检的车数为：
$$\sum_{j=1}^9 \sum_{k=1}^{35} f_{ijk}$$

各列检车队列检车数与 7 的绝对偏差最小可表示为：

$$\text{Min} = \left| \sum_{j=1}^9 \sum_{k=1}^{35} f_{ijk} - 7 \right|$$

$$i = 1, 2, \dots, 5$$

若使各列检队工作量基本一致，则应令所有偏差之和最小，即第二层目标为：

$$\text{Min } Q_2 = \sum_{i=1}^5 \left| \sum_{j=1}^9 \sum_{k=1}^{35} f_{ijk} - 7 \right|$$

(3) 第三层目标“各列检队繁忙程度基本一致”分析

在满足第一、二层目标的基础上提出了优先级别第三的目标要求：各列检队繁忙程度基本一致，即各列检队所检车次间隔尽量均匀，可采取与第二层目标相同的处理手法，即令与均值的偏差最小来实现繁忙程度基本一致。

依然采用 0-1 变量 f_{ijk} 表示第 i 个列检队是否检第 j 股道上的第 k 辆车，0-1 变量 f_{ipq} 表示第 i 个列检队是否检第 p 股道上的第 q 辆车，其中 $j \neq p$ ， $k \neq q$ 。以 L_{ikq} 表示第 i 个列检队检的第 k 、 q 辆车的车次时间间隔，以 l 表示所检车次时间间隔的期望（常数），则各列检队繁忙度与均值的偏差可表示为：

$$\sum_{j=1}^9 \sum_{k=1}^{34} f_{ijk} \cdot f_{ipq} \cdot |L_{ikq} - l|$$

$$i = 1, 2, \dots, 5$$

若使各列检队繁忙程度基本一致，则应令所有偏差之和最小，则第三层目标为：

$$\text{Min } Q_3 = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^9 \sum_{k=1}^{34} f_{ijk} \cdot f_{ipq} \cdot |L_{ikq} - l|$$

常数 l （平均列检间隔时间）的确定

对于每个作业队都有一个工作时间段，总工作时间 T 包括总列检间隔时间 L 和总列检时间 G 两部分。总工作时间为每个作业队完成最后一次列检的时刻 Y_i 与第一次开始列检时刻 X_i 差值的总和，其中各作业队对应的第一次列检时刻为所有列车中前 5 列最早需要列检列车的到达时刻，各作业队最后一次列检对应需要列检且离开最晚列车的离开时

刻，则总工作时间 T 为：

$$T = \sum_{i=1}^5 (Y_i - X_i) \quad (1)$$

各作业队总列检时间为需要列检的每一列车列检时间总和，即：

$$G = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{38} g_{ij} \quad (2)$$

则各作业队列检间隔总时间 L 为总工作时间 T 和总列检时间 G 的差值，即：

$$L = T - G \quad (3)$$

已确定列车总列检次数为 38，所有作业队的总列检间隔次数为 33，则各作业队平均列检间隔时间为：

$$l = \frac{L}{33}$$

根据题目中提供的数据，联立①②③求解得： $l = 76.1$

二、目标规划模型对以上三层目标的处理

以上三目标优先程度依次递减，在计算目标规划时，必须先优化高优先级的目标，然后优化低优先级的目标，以 P_1, P_2, P_3 分别表示三目标 Q_1, Q_2, Q_3 的优先级，则根据目标规划法将以上三目标处理如下：

$$\text{Min} = \sum_{i=1}^3 P_i \cdot Q_i$$

其中， P_i 表示第 i 个目标的优先级； Q_i 表示第 i 个目标。

5.2 约束分析

(1) 跨股道时间限制

为确保工作人员的安全，每个作业队在空闲时间足够的情况下，可以通过站台到达相应股道进行列检工作。根据题目中的特别约定，两股道数之差小于 3 时，则需要 6 分钟到达相应的位置。若两股道数之间的差大于或等于 3，则需要 8 分钟到达相应位置。当作业队需要列检的两列车时间间隔不满足上述情况时，则考虑跨股道。综合分析作业队跨股道的情况，每个作业队跨越一个股道的时间为 1 分钟。

依然采用 0-1 变量 f_{ijk} 表示第 i 个列检队在第 j 个股道上是否对第 k 列车进行列检， L_{ikq} 表示第 i 个列检队检的第 k 、 q 辆车的车次时间间隔， n_{ik} 表示第 i 个作业队在第 k 个间隔时间内跨越的股道数。作业队由第 j 个股道跨到第 p 个股道情况为间隔时间不小于 $p - j$ ，且间隔时间不足 L_{ikq} 。根据以上分析，作业队跨股道数量可表示如下：

$$n_{ik} = \begin{cases} f_{ijk} f_{ipq} (p - j) & p - j \leq f_{ijk} f_{ipq} L_{ikq} \leq f_{ijk} f_{ipq} T_{p-j} \\ 0 & f_{ijk} f_{ipq} L_{ikq} \leq f_{ijk} f_{ipq} T_{p-j} \end{cases}$$

(2) 每股道列检车次限制

根据问题一中已确定的列车股道分配方案，确定出每个股道上需要列检的车次为 N_j 。则每个股道上的列检次数满足如下限制：

$$\sum_{i=1}^5 \sum_{k=1}^{35} f_{ijk} = N_j$$

$$j = 1, 2, \dots, 9$$

(3) 每列车列检次数限制

根据列车列检相关工作要求，每列需要列检的车次由一个列检队完成列检任务。则每列需要列检的车次需要满足如下限制：

$$\sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^9 f_{ijk} = 1$$

$$k = 1, 2, \dots, 35$$

5.3 “列检列检队分配问题”目标规划模型的建立

基于模型分析，可建立队列检队工作分配的目标规划模型如下：

$$\text{Min} = \sum_{i=1}^3 P_i \cdot Q_i$$

$$s.t. \begin{cases} Q_1 = \sum_{i=1}^5 \sum_{k=1}^{34} n_{ik} & \dots(1) \\ Q_2 = \sum_{i=1}^5 \left| \sum_{j=1}^9 \sum_{k=1}^{35} f_{ijk} - 7 \right| & \dots(2) \\ Q_3 = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^9 \sum_{k=1}^{34} f_{ijk} \cdot f_{ipq} \cdot |L_{ikq} - l| & \dots(3) \\ n_{ik} = \begin{cases} f_{ijk} f_{ipq} (p-j) & p-j \leq f_{ijk} f_{ipq} L_{ikq} \leq f_{ijk} f_{ipq} T_{p-j} \\ 0 & f_{ijk} f_{ipq} L_{ikq} \leq f_{ijk} f_{ipq} T_{p-j} \end{cases} & \dots(4) \\ \sum_{i=1}^5 \sum_{k=1}^{35} f_{ijk} = N_j & j = 1, 2, \dots, 9 & \dots(5) \\ \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^9 f_{ijk} = 1 & k = 1, 2, \dots, 35 & \dots(6) \end{cases}$$

◆ 目标规划模型说明：

根据上面模型根据 P_i 的不同可解决第二问的 3 个子问题。

对于第 1 小问，即仅考虑第一层目标 (Q_1) 时，得出的解为“各列检队跨股道数目尽量少”时的列检安排方案，此时 $P_i = (1, 0, 0)$ 。

对于第 2 小问，即在第一层求解结果的基础上，考虑第二层目标 (Q_2) 时，得出的解为“各列检队工作量基本一致”时的列检安排方案，此时 $P_i = (0, 1, 0)$ 。

对于第 3 小问，即在第二层求解结果的基础下，考虑第三层目标 (Q_3) 时，得出的解为“各列检队繁忙程度基本一致”时的列检安排方案，此时 $P_i = (0,0,1)$ 。

- (1) 第一层目标，各列检队跨股道数目尽量少；
- (2) 第二层目标，各列检队工作量基本一致；
- (3) 第三层目标，各列检队繁忙程度基本一致；
- (4) 跨股道时间限制；
- (5) 每股道列检车次限制；
- (6) 每列车列检次数限制。

P_i —— 表示各目标的优先级别；

N_j —— 表示每个股道上需要列检的车次。

n_{ik} —— 表示第 i 个列检队在第 k 个车次间隔内跨股道的数目；

L_{ikq} —— 表示第 i 个列检队检的第 k 、 q 辆车的车次时间间隔；

f_{ijk} —— 表示第 i 个列检队在第 j 个股道上是否对第 k 列车进行列检；

5.4 模型的求解

根据目标规划模型，通过 Matab 仿真顺序寻优求解（程序见附录 3.3），并通过交换 2、3 目标层，分别得到“不跨站台优先”及“列检数目均衡优先”两种情况下列检工作队的列检安排方案。

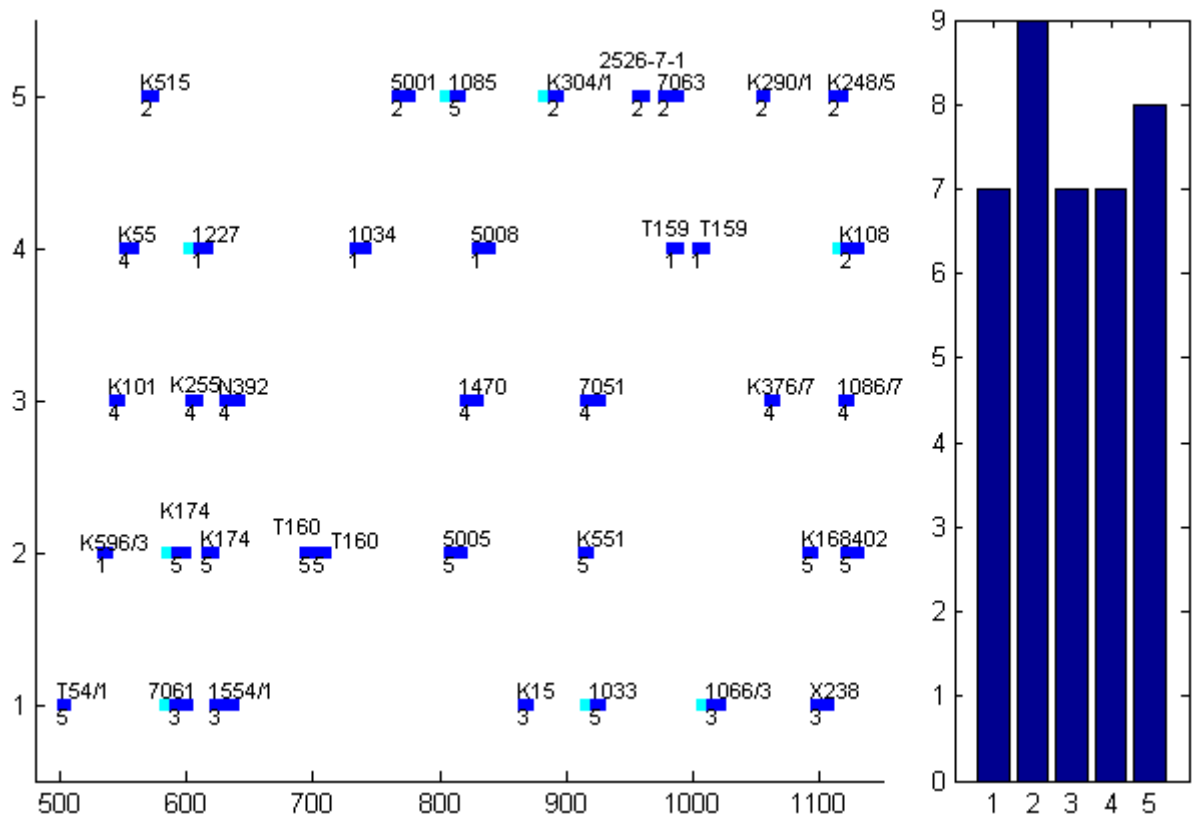
- 优先考虑不跨站台时得到列检工作队的列检安排如下：

列检时刻表 1（不跨站台优先）

		1	2	3	4	5	6	7	8	9
列 检 一 队	车次	'T54/1'	7061	'N392'	'K15'	1033	'1066/3'	'X238'		
	站台	5	3	3	3	5	3	3		
	到达时间 (包括 3 分钟)	499	587	618	863	919	1012	1093		
	离开时间	508	605	640	874	930	1026	1111		
	是否跨股道	0	0	0	0	0	0	0		
	跨站台时间	0	8	0	0	8	8	0		
列 检 二 队	车次	'K596/3'	'K174'	1227	'T160'	'T160'	5005	7051	'K16'	'1086/7'
	站台	1	5	5	5	5	5	5	5	5
	到达时间 (包括 3 分钟)	530	589	612	690	701	804	910	1088	1117
	离开时间	541	602	625	703	714	822	921	1099	1135
	是否跨股道	0	0	0	0	0	0	0		
	跨站台时间	0	8	0	0	0	0	0		
列	车次	'K101'	'K174'	'1554/1'	1085	'K551'	'K376/7'	8402		

检 三 队	站台	4	4	4	4	4	4	4	
	到达时间 (包括 3 分钟)	539	600	627	816	912	1058	1116	
	离开时间	551	612	645	834	930	1068	1127	
	是否跨股道	0	0	0	0	0	0	0	
	跨站台时间	0	0	0	0	0	0	0	
列 检 四 队	车次	'K55'	'K255'	1034	5008	'T159'	'T159'	'K248/5'	
	站台	4	1	1	1	1	1	2	
	到达时间 (包括 3 分钟)	547	606	729	826	980	1000	1117	
	离开时间	562	620	745	844	993	1013	1135	
	是否跨股道	0	0	0	0	0	0	0	
跨站台时间	0	8	0	0	0	0	6		
列 检 五 队	车次	'K515'	5001	1470	'K304/1'	'2526-7-1'	7063	'K290/1'	'K108'
	站台	2	2	5	2	2	2	2	2
	到达时间 (包括 3 分钟)	565	762	809	886	953	974	1051	1108
	离开时间	577	780	820	897	966	992	1060	1123
	是否跨股道	0	0	0	0	0	0	0	0
跨站台时间	0	0	8	8	0	0	0	0	

绘出不跨站台优先目标下火车列检图如下：



结论：

- [1] 以上求解结果可保证无列检队需要跨股道作业
- [2] 各列检队需要跨站台数最多 3 次，最少不跨，总数为 8 次。由于满足时间约束，在跨站台时可从站台旁边走而不需要跨骨道。
- [3] 各工作队最少检 7 辆车，最多检 9 辆，繁忙度已比较接近。

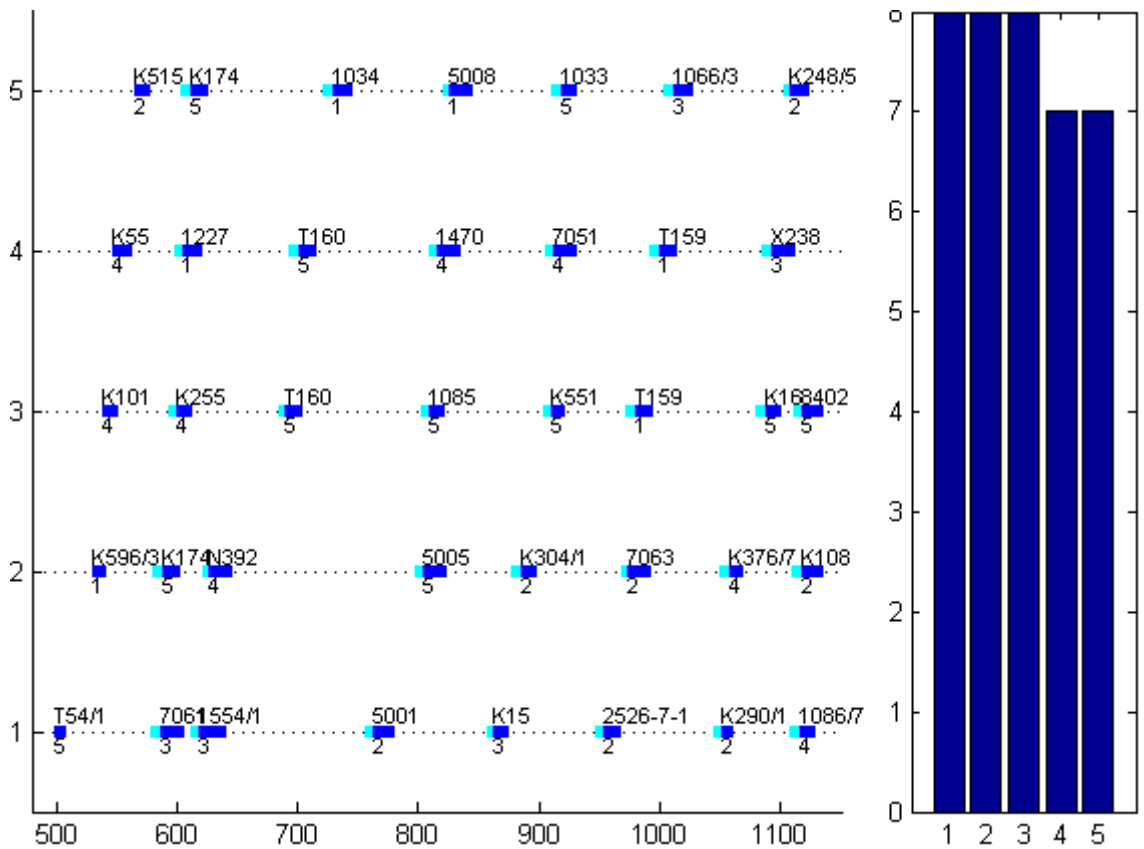
● 优先考虑各列检队列件数目均衡优先得到列检工作队的列检安排如下：

列检时刻表 2（列检数目均衡优先）

		1	2	3	4	5	6	7	8
列检一队	车次	'T54/1'	7061 'N392'		5001 'K15'		'2526-7-1' 'K290/1'		8402
	站台	5	3	3	2	3	2	2	4
	到达时间 (包括 3 分钟)	499	587	618	762	863	953	1051	1116
	离开时间	508	605	640	780	874	966	1060	1127
	是否跨股道	0	0	0	0	0	0	0	0
	跨站台时间	0	8	6	6	6	6	6	8
	跨站台数	0	1	1	1	1	1	1	1
列检二队	车次	'K596/3'	'K174'	'1554/1'	5005 'K304/1'		7063 'K376/7'	'K248/5'	
	站台	1	5	4	5	2	2	4	2
	到达时间 (包括 3 分钟)	530	589	627	804	886	974	1058	1117
	离开时间	541	602	645	822	897	992	1068	1135
	是否跨股道	0	0	0	0	0	0	0	0
	跨站台时间	0	8	6	6	8	6	8	8
	跨站台数	0	1	1	1	1	1	1	1
列检三队	车次	'K101'	'K174'	'T160'	1470	7051 'T159'	'K16'	'1086/7'	
	站台	4	4	5	5	5	1	5	5
	到达时间 (包括 3 分钟)	539	600	690	809	910	980	1088	1117
	离开时间	551	612	703	820	921	993	1099	1135
	是否跨股道	0	0	0	0	0	0	0	0
	跨站台时间	0	6	6	6	6	8	8	6
	跨站台数	0	1	1	1	1	1	1	1
列检四队	车次	'K55'	'K255'	'T160'	1085 'K551'	'T159'	'X238'		
	站台	4	1	5	4	4	1	3	
	到达时间 (包括 3 分钟)	547	606	701	816	912	1000	1093	
	离开时间	562	620	714	834	930	1013	1111	
	是否跨股道	0	0	0	0	0	0	0	
	跨站台时间	0	8	8	6	6	8	8	
	跨站台数	0	1	1	1	1	1	1	
列检五队	车次	'K515'	1227	1034	5008	1033 '1066/3'	'K108'		
	站台	2	5	1	1	5	3	2	
	到达时间 (包括 3 分钟)	565	612	729	826	919	1012	1108	
	离开时间	577	625	745	844	930	1026	1123	
	是否跨股道	0	0	0	0	0	0	0	
	跨站台时间	0	8	8	6	6	8	8	
	跨站台数	0	1	1	1	1	1	1	

跨站台时间	0	8	8	6	8	8	6
-------	---	---	---	---	---	---	---

绘出列检数目均衡优先目标下火车列检图如下：



结论：

- [1] 以上求解结果可保证无列检队需要跨股道作业；
- [2] 各工作队最少检 7 辆车，最多检 8 辆，以达到目前车数下最均衡情况；
- [3] 本问需要跨站台数目较多，但由于满足时间约束，仍可从站台两边走，只是工作人员工作强度加大。

5.5 “考虑列检队工作人员吃饭问题” 列检队分工

5.5.1 问题分析

本题在考虑每个作业队跨股道数目尽量地少，且各个作业队的工作量基本一致的情况下，要求各作业队吃饭时间尽量与人们正常吃饭时间一致。根据问题二的前两问可以确定各个作业都不需要跨股道作业，并且能够满足各队工作量基本一致。为使每个作业队尽量与人们正常吃午饭时间一致，尽量把每个队的吃饭时间安排在 12:00 左右。

5.5.2 排列方法与求解

采用启发式算法对本题进行求解，为确保各列检队的工作跨股道数量尽量少，在安排每个列检队工作时，可以尽量延长每个工作队的列简间隔时间。因此可以考虑依次安排每个列检队完成列检任务。既能确保每个列检队尽量不跨股道工作，同时又能保证每个工作队的 workload 基本相同。

排列方法:

step1:对需要列检的所有列车进站时间按照先后顺序进行排列;

step2:根据列车到达的先后顺序,根据跨股道相关要求,依次安排5个列检队进行列检工作;当存在工作队不能在规定时间内到达相应列检位置时,由在该位置完成上一次列检任务的列检队来完成;

step3:按照步骤二依次安排,直到安排完所有列检任务。在安排吃午饭时间时,尽量将各工作队吃饭时间安排在12:00左右。

求解结果:

列检间隔时间

按照依次安排列检队的原则,可以得出各列检队需要完成相邻两次列检任务的时间间隔如下表:

队序号	列检间隔时间						
1	67	10	105	86	82	88	45
2	51	19	152	67	65	69	43
3	52	81	101	66	53	98	20
4	47	84	98	93	82	83	
5	38	107	69	78	85	79	

根据上表可知,每个列检队的需要完成相邻两次列检任务之间的间隔时间都能满足不跨股道的要求。

列检工作量

根据确定的排列方法排出每个列检队的需要列简的车次如下表:

队序号	列检车次号								总车次
1	T54/1	K174	1554/1	5001	K15	Jul-26	K290/1	1086 1086/7	8
2	K596/3	K174	N392	1085 1088/5	K304/1	T159	K376/7	K108	8
3	K101	K255	T160	5005	K551	T159	K16	8402	8
4	K55	7061	T160	1470	1033	7063	X238		7
5	K515	1227	1034	5008	7051	1066/3	K248/5		7

根据上表可以确定每个列检队的列检工作量基本相同。

确定午饭时间

根据上面的排列结果,确定出每个列检队可以安排午饭的时间范围如下表:

队序号	午饭时间范围
1	11:18—13:00
2	11:00—11:30 11:54—13:00

3	11: 00—12: 09 12: 25—13: 00
4	11: 00—12: 57
5	11: 00—13: 00

为使每个作业队的吃午饭的时间尽量与人们的正常午饭时间一致, 根据上表中每个作业队的可以安排午饭时间的范围确定出每个队的最佳午饭时间如下表:

队号	午饭时间
1	11: 45—12: 15
2	11: 54—12: 24
3	11: 39—12: 09
4	11: 45—12: 15
5	11: 45—12: 15

由上表可以看出, 每个作业队吃午饭的时间都集中在人们的正常吃午饭时间内(11: 00—13: 00)。可认为各作业队吃午饭时间安排的合理可行。

根据以上结果可以看出五个作业队能够在相关工作要求下完成列检工作。因此, 不需要再增加作业队。

附录

1.1 数据处理后（虚拟列车时刻表）

原始序号	车次	运行区间	列车种类	到	发	调整后 股道安排	停站时分
123	D32	上海-北京	动车组	15:08		6	0
129	D31	北京上海	动车组	16:32		6	0
94	T54/1'	'乌鲁木齐-上海'	'特快'	502	508	9	6
95	K596/3'	'乌鲁木齐-南京西'	'快速'	533	541	1	8
97	K101'	'北京-温州'	'快速'	542	551	8	9
98	7062	'沛屯-徐州'	'普客'	546	566	5	20
99	K55'	'哈尔滨-上海'	'快速'	550	562	7	12
96	8405	'杨屯-徐州'	'通勤'	555	575	10	20
100	K515'	'长春-上海'	'快速'	568	577	3	9
104	7061	'徐州-沛屯'	'普客'	575	605	4	30
101	5031	'烟台-徐州'	'普客'	588	608	2	20
102	K174'	'西宁、兰州-四方'	'快速'	592	625	9	33
103	K255'	'包头-宁波'	'快速'	603	612	8	9
105	1227	'阜新-上海'	'普客'	609	620	1	11
107	N392'	'徐州-沧口'	'快速'	615	645	7	30
106	'1554/1'	'太原-连云港东'	'普客'	621	640	5	19
108	5050	'连云港东-徐州'	'普客'	658	678	4	20
109	T160'	'广州东-四方'	'特快'	693	714	10	21
110	1034	'金华西-沈阳北'	'普客'	732	745	1	13
111	7052	'连云港东-徐州'	'普客'	741	761	2	20
113	5001	'徐州-连云港东'	'普客'	750	780	3	30
112	5007	'济南-徐州'	'普客'	763	783	5	20
114	5048	'连云港东-徐州'	'普客'	792	812	4	20
117	5005	'徐州-连云港东'	'普客'	792	822	9	30
118	1470	'徐州-哈尔滨'	'普客'	804	834	8	30
115 隔日	1085	'济南-乌鲁木齐'	'普客'	812	820	10	8
116 隔日	1088/5	连云港东-乌鲁木齐					
119	5008	'徐州-济南'	'普客'	814	844	1	30
120	K15'	'济南-重庆北'	'快速'	866	874	4	8
121	7064	'沛屯-徐州'	'普客'	886	906	8	20
122	K304/1'	'连云港东-广州'	'快速'	889	897	3	8
126	7051	'徐州-连云港东'	'普客'	900	930	7	30
124	K551'	'哈尔滨-温州'	'快速'	913	921	10	8
125	1033	'沈阳北-金华西'	'普客'	922	930	9	8
127	'2526-7-1'	'上海-连云港东'	'普客'	956	966	3	10
130	7063	'徐州-沛屯'	'普客'	962	992	2	30
128	T159'	'四方-广州东'	'特快'	983	1013	1	30
131	'1066/3'	'汉口-威海'	'普客'	1015	1026	4	11

132	'K75'	'吉林-宁波'	'快速'	1016	1019	9	3
133	'K562'	'南京-徐州'	'快速'	1024	1044	5	20
134	'N391'	'沧口-徐州'	'快速'	1038	1058	8	20
135	'K290/1'	'上海-成都'	'快速'	1054	1060	2	6
136	'K376/7'	'上海-西宁'	'快速'	1061	1068	7	7
137	'K16'	'重庆北-济南'	'快速'	1091	1099	9	8
138	'X238'	'杭州-哈尔滨'	'行包'	1096	1111	5	15
142	'K108'	'徐州-北京'	'快速'	1105	1135	3	30
143	8402	'徐州-杨屯'	'通勤'	1105	1135	10	30
139	'K248/5'	'扬州-成都'	'快速'	1111	1123	2	12
140 隔日	1086	'乌鲁木齐-连云港东'					
141 隔日	'1086/7'	乌鲁木齐-连云港东	'普客'	1119	1127	7	8

列车车次繁忙度

股道号	1	2	3	4	5
繁忙度	0.1263	0.1053	0.1053	0.1263	0.0842
股道号	6	7	8	9	10
繁忙度	0.0211	0.1053	0.1053	0.1053	0.1158

停留时间繁忙度

股道号	1	2	3	4	5
繁忙度	0.1405	0.0911	0.0911	0.1392	0.0785
股道号	6	7	8	9	10
繁忙度	0	0.1089	0.0873	0.1266	0.1367

2.1 数据处理后（虚拟列车到站列检时刻表）

车次	运行区间	列车种类	到	发	调整后股道安排
'T54/1'	'乌鲁木齐-上海'	'特快'	499	508	9
'K596/3'	'乌鲁木齐-南京西'	'快速'	530	541	1
'K101'	'北京-温州'	'快速'	539	551	8
'K55'	'哈尔滨-上海'	'快速'	547	562	7
'K515'	'长春-上海'	'快速'	565	577	3
7061	'徐州-沛屯'	'普客'	587	605	4
'K174'	'西宁、兰州-四方'	'快速'	589	602	9
'K174'	'西宁、兰州-四方'	'快速'	600	612	8
'K255'	'包头-宁波'	'快速'	606	620	1
1227	'阜新-上海'	'普客'	612	625	9
'N392'	'徐州-沧口'	'快速'	618	640	5
'1554/1'	'太原-连云港东'	'普客'	627	645	7
'T160'	'广州东-四方'	'特快'	690	703	10

'T160'	'广州东-四方'	'特快'	701	714	10
1034	'金华西-沈阳北'	'普客'	729	745	1
5001	'徐州-连云港东'	'普客'	762	780	3
5005	'徐州-连云港东'	'普客'	804	822	9
1470	'徐州-哈尔滨'	'普客'	809	820	10
1085	'济南-乌鲁木齐'	'普客'	816	834	8
5008	'徐州-济南'	'普客'	826	844	1
'K15'	'济南-重庆北'	'快速'	863	874	4
'K304/1'	'连云港东-广州'	'快速'	886	897	3
7051	'徐州-连云港东'	'普客'	910	921	10
'K551'	'哈尔滨-温州'	'快速'	912	930	7
1033	'沈阳北-金华西'	'普客'	919	930	9
'2526-7-1'	'上海-连云港东'	'普客'	953	966	3
7063	'徐州-沛屯'	'普客'	974	992	2
'T159'	'四方-广州东'	'特快'	980	993	1
'T159'	'四方-广州东'	'特快'	1000	1013	1
'1066/3'	'汉口-威海'	'普客'	1012	1026	4
'K290/1'	'上海-成都'	'快速'	1051	1060	2
'K376/7'	'上海-西宁'	'快速'	1058	1068	7
'K16'	'重庆北-济南'	'快速'	1088	1099	9
'X238'	'杭州-哈尔滨'	'行包'	1093	1111	5
'K108'	'徐州-北京'	'快速'	1108	1123	2
8402	'徐州-杨屯'	'通勤'	1116	1127	7
'K248/5'	'扬州-成都'	'快速'	1117	1135	3

3.1 Matlab 数据处理程序

3.2 模型一 Lingo 程序

3.3 模型二求解
