文章编号:1005－0523(2005)05－0058－04

通道内平行铁路间列车径路选择优化研究

谭云江[1],闫海峰[2],顾国林[3]

(1.西南交通大学 交通运输学院,成都 610031;2.铁道科学研究院 运输及经济研究所,北京 100081;3.铁道第二勘察设计院 线路处,成都 610031)

摘要:论文通过运用系统工程和系统科学的方法与理论,将通道系统进行抽象的描述,选取通过能力、旅行速度、运行调整和运输成本四个方面,作为通道系统分工比选和判断优劣的标准,建立了通道分工的系统优化模型,并运用满意优化的理论,给出了模型的算法步骤.最后,运用研究成果,确定出了京兰通道(北京－集宁段)列车的优化分工方案.

关 键 词:铁路通道; 平行线路; 列车分工;优化模型;

中图分类号:U292.5 **文献标识码**:A

随着铁路通道功能和结构的不断完善,各组成线路的功能和性质将发生较大的变化,通道内部平行线路间的列车分工是否合理,对通道内各条线路通过能力的合理利用,列车旅行速度的提高,以及铁路运输组织水平的改善等方面有着较大的影响[1,2].因此,科学合理地进行通道内部运输组织分工,充分发展通道整体的运输能力,具有一定的现实意义.

1 通道系统的构建和抽象描述

1.1 系统的网络结构描述

通道系统由相关铁路平行线路和若干车站构成.在讨论分工组织方案时,只涉及到列车运行径路和主要技术站的疏解问题.因此,只保留相关的线路和主要技术站作为数学抽象描述的对象,把主要技术站作为网络的节点,把线路作为相邻技术站间的弧,构成网络图[3].

在网络图中,根据与节点相连接的弧所属线路的性质,将其分为Ⅰ类节点(列车可转线的节点)和Ⅱ类节点(列车不可以转线的节点)并进行编号,用 K_{ij} 表示(其中:i 表示节点种类;j 表示节点序号).

假定在研究的系统内部列车的开行和系统的结构在空间上是对称的,那么就可以只研究某个方向来确定出整个通道系统的分工方案.取上行方向为研究方向,将连接节点(序号)b 到相邻节点 c 的一段属于线路 a 的铁路线路定义为有向弧 l_{abc}.

1.2 列车及径路相关描述

假定在通道内所运行列车的始发、终到站(不论是否为实际的始发终到站)种类和运行速度(列车等级)均为已知.将列车按照其种类和等级进行分类,第 k 类列车中的第 j 列列车记为 t_{kj}.

列车 t_{kj} 由在系统中首先出现的车站 S_O 至最终消失的车站 S_t 的径路可以用其经过的有向弧序列或结点序列来唯一的确定.设列车 t_{kj} 在通道系统内部,从 S_O 运行至 S_t 所经过的所有 I 类节点和 S_O 与 S_t 组成的序列集合为 $\{S_{kj}\}$.集合 $\{S_{kj}\}$ 为一个有序集[4],作用在该集合上的序关系,就是列车 t_{kj} 所通过节点的先后顺序.

由于在 $\{S_{kj}\}$ 中不含有非起终点的 II 类节点,那么对相邻 I 类节点间所包含弧的选择问题,即为运输组织分工方案的确定问题.若某列车对应的 $\{S_{kj}\}$ 中不含有 I 类节点,此列车将不参与分工方案的确定,即此列车的运行径路是非选择性的.

收稿日期:2005－06－15

作者简介:谭云江(1976－),女,四川攀枝花人,硕士研究生.

中国知网 https://www.cnki.net

2　列车占用资源和运行质量的抽象描述

列车在相关线路上运行时，要占用一定的通过能力，同时也要消耗一定的运输成本．在对列车占用线路资源方面，可以从通过能力和运输成本两个方面来考察．而旅行速度和运输组织日常调整则在列车运行和行车组织两个方面，体现了分工方案对列车运行质量的影响．

1) 通过能力　设列车 t_{kj} 在弧 l_{abc} 上运行所占用的能力为；弧 l_{abc} 在一定条件下，对应的实际线路区段所具有的或所能达到的最大通过能力为 N_{abc}．N_{abc} 小于该线路区段最大通过能力，它应该是一个被系统所指导的，具有一定潜力或应变能力的能力值．另外，假定列车的运行不受节点能力的限制．

2) 运输成本　设列车 t_{kj} 在弧 l_{abc} 上运行产生的运输成本为，它实际上是一种广义成本．

3) 旅行速度　旅行速度从一定角度反映了列车分工方案在运行质量上的体现．定义弧在一定程度上能够接受的较为满意的平均旅行速度值为，用其判断分工方案能否达到满意的列车运行质量．

4) 运输日常调整　一般，列车日常运输组织的调整与列车的开行种类(等级)、列车的开行顺序、通过能力的利用程度、区间的不均衡性有很大的关系，它体现了运输组织分工方案具体实施的难易程度．弧上列车可调整度的满意值用表示．

3　优化模型的构建

对通道内开行列车的分工，就是为了寻找某一分工方案，能够在允许的通过能力利用范围内，实现最优的列车旅行速度、最佳的运输日常调整、以及最省的运输成本．因此，寻找最优分工方案，是以通过能力的利用为约束条件，以列车的旅行速度、日常调整和运输成本为最优目标的一个优化问题．

3.1　决策变量

首先定义 0—1 决策变量：

$$x_{l_{abc}k_j}=\begin{cases}0 & \text{列车 } k_j \text{ 不占用弧 } l_{abc}\\ 1 & \text{列车 } k_j \text{ 占用弧 } l_{abc}\end{cases}$$

3.2　约束条件

1) 列车开行数量约束(n_k 为 k 种列车的总数)

$$\sum_{j}\bigcap x_{l_{abc}k_j}=n_k \qquad (b,c\in\{S_{kj}\}) \tag{1}$$

2) 列车径路约束

$$\sum_{b,c}^{a}\sum x_{l_{abc}k_j}=\triangle(S_{kj})-1 \qquad (b,c\in\{S_{kj}\}) \tag{2}$$

3) 弧能力约束

$$\sum_{k}n_{l_{abc}k}\sum_{j}x_{l_{abc}k_j}\leq N_{abc} \tag{3}$$

上述约束共同构成了该问题的解空间 Ω_0．

3.3　目标函数

1) 旅行速度　将弧 l_{abc} 上对列车旅行速度的评价表示为：

$$V'_{l_{abc}}=\wedge(x_{l_{abc}k_j},t_{kj}) \tag{4}$$

其中，$\wedge(x,y)$ 是作用在评价对象 x,y 上的某个评价准则．

2) 运输成本　列车 k_j 在弧上产生的总运输成本为：

$$W_{kj}=\omega_{l_{abc}k}\sum_{a}^{b,c}\sum x_{l_{abc}k_j}=\omega_{l_{abc}k}\sum_{l}x_{l_{abc}k_j} \quad (b,c\in\{S_{kj}\} \tag{5}$$

3) 列车运行调整　将弧 l_{abc} 上列车运行组织方案可调整度的评价表示为：

$$D'_{l_{abc}}=\tilde{\wedge}(x_{l_{abc}k_j},t_{kj}) \tag{6}$$

其中，$\tilde{\wedge}(x,y)$ 是作用在评价对象 x,y 上的某个评价准则．

4) 目标函数的确定　对于最优分工方案就是使得运输成本、旅行速度和运行组织日常调整，达到综合最优的一个运输组织分工方案．因此，做出目标函数：

$$opt\cdot Z=\sum_{k}^{j}\sum W_{kj}\bigcup\prod_{l_{abc}}(V'_{l_{abc}}\bigcup D'_{l_{abc}}) \tag{7}$$

在目标函数中，对运行调整和旅行速度是分区段进行考查和比较的，用贝尔曼最优化原理[5]，不难证明分区段确定的最优方案序列集合也是整个通道在整体上的最优方案．

3.4　模型的建立

通过以上的分析，建立该问题的优化模型 [M1]，如下：

$$Z=\{\text{opt}\cdot\sum_{k}^{j}\sum W_{k_j}\bigcup\prod_{l_{abc}}(V'_{l_{abc}}\bigcup D'_{l_{abc}})\mid x_{l_{abc}k_j}\in\Omega_0\}$$

[M1]属于一个大规模、多目标、多阶段、非线性的组合优化问题，具有较高的复杂度．

4　模型的改进

4.1　单目标转化

为了寻求解决模型的有效手段，必须对模型的目标函数进行改进．利用满意优化的理论，将运输

中国知网　https://www.cnki.net

成本子目标保留，做为改进模型[M2]的目标函数，而将旅行速度和运行调整两个子目标作为两个约束条件来处理，将[M1]转化为单目标优化问题[6]. 这样得到[M2]为：

$$Z=\{\min\sum_{k}^{}\sum_{j}^{}W_{k_j}\bigcup\prod_{l_{abc}}(V'_{l_{abc}}\bigcup\prod_{l_{abc}}(V'_{l_{abc}}\bigcup D'_{l_{abc}})\mid x_{l_{abc}k_j}\in\Omega_0;V_{abc}\leq V'_{l_{abc}};D_{abc}\leq D'_{l_{abc}}\}$$

在[M2]中增加的两个约束条件约束值 V_{abc} 和 D_{abc} 的选取和确定，直接关系到[M2]和[M1]解的相似性，如果 V_{abc} 和 D_{abc} 的取值为[M1]中最优解所对应的目标值 $V^{*}_{l_{abc}}$ 和 $D^{*}_{l_{abc}}$，则[M1]⇔[M2]. 但是，对于大规模复杂最优化问题，几乎都无法最终得到全局最优解，转而寻求满意解. 因此，可以选取两个满意值 V_{abc} 和 D_{abc} 来作为[M2]中约束条件的约束值. 这样，[M2]的最优解即为[M1]的一个满意解，其满意度取决于 V_{abc} 和 D_{abc} 的取值.

4.2 模型的分段优化

从另外的角度看，对于 V_{abc} 和 D_{abc} 的确定实际上是一个实施效果的反馈问题. 因而，在整个的优化过程中，可以将优化过程分为两个阶段，第一个阶段为方案的初步拟定阶段，利用目标函数确定出满足某类约束条件的较优的分工方案；第二个阶段为实施效果反馈阶段，从旅行速度和运行调整两个方面对第一阶段拟定的分工方案进行效果评价，并根据评价的结果提出一定的改进措施或推荐方案，从而使原分工方案达到更优的效果. 由此可以将[M2]转化为[M3]：

STEP Ⅰ $Z_{1i}=\{\min\omega_{l_{abc}k}\Sigma\Sigma x^{i}l_{abc}k_j\mid x^{i}_{l_{abck_j}}\in\Omega_0\}$

STEP Ⅱ $F_i=\{V_{abc}\leq\wedge(x^{i}_{l_{abc}k_j},t_{kj})\cap D_{abc}\leq\tilde{\wedge}(x^{i}_{l_{abc}k_j},t_{kj})$ （F_i 为逻辑变量）

STEP Ⅲ $Z_{2i}=\{\mathrm{opt}\cdot(\wedge(x^{i}_{l_{abc}k_j},\triangle x^{i}_{l_{abc}k_j},k_{kj})\cup\tilde{\wedge}(x^{i}_{l_{abc}k_j},\triangle x^{i}_{l_{abc}k_j},t_{kj}))\cdot\bar{F}_i\mid(x^{i}_{l_{abc}k_j})\in\Omega_0\}$

STEP Ⅳ 令：$x^{i+1}_{l_{abc}k_j}=x^{i}_{l_{abc}k_j}-\triangle x^{i}_{l_{abc}k_j}\cdot\bar{F}_i$ （$i\geq 1$）

将 $x^{i+1}_{l_{abc}k_j}$ 将代入到 STEP Ⅰ 中再依次逐阶段计算，直至 Z_1 和 Z_2 不再发生明显的变化，即完成计算. 通过[M3]可以得出解决运输通道上平行线路间运输组织分工方案问题的一般步骤，如图 1 所示.

5 实例分析

中国知网 https://www.cnki.net

我国铁路部门规划修建集宁－张家口新线，并改造原有京张铁路. 这样，京兰通道北京－集宁段(通道结构如图 2)内就产生了平行线路间的运输组织分工问题.

按照上述方法和步骤，根据分工原则对京兰通道(北京－集宁段)进行分工方案的确定.

首先，对通过能力利用率、运输利润、速度系数[7]和可调整度进行分析和计算，可以得到针对每一个初步拟定方案的指标量化值. 然后，按图 1 所示的方法步骤，对各个区段的分工方案进行确定，得到最终分工方案[2]，如表 1 所示.

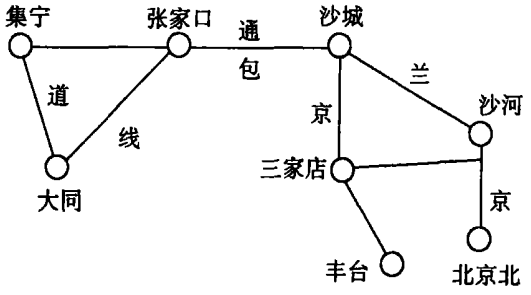

图 2 通道系统线路结构示意图

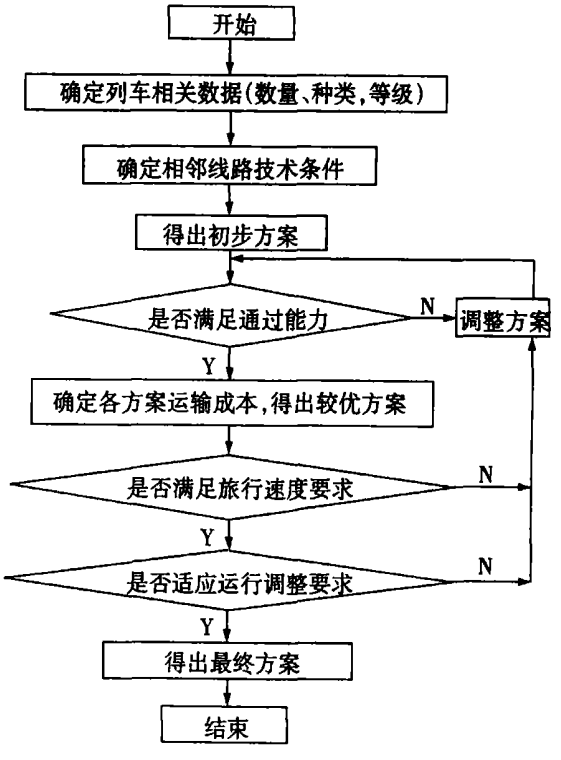

图 1 通道运输组织分工方案求解步骤流程图

6 结束语

以上虽然对铁路通道内部平行线路间列车的运输组织分工方案的相关问题进行了较为系统的

研究，也取得了一些成果，但离问题的真正解决还有许多工作要做．随着我国铁路发展和通道建设的不断推进，在今后的工作中还应该在通道系统的综合评价，评价指标的量化以及通道系统内部的优化协调等方面进行更为深入的研究．

表 1　京兰通道(北京－集宁段)研究年度各区段推荐分工方案表

		快速旅客列车	一般旅客列车	货物列车
集宁——张家口	新线	22	5	54
	既有线			
张家口－沙城	新线	39	9	14
	既有线		3	102
沙城－北京北	新线	42	9	14
	既有线		1	98

参考文献：

[1] 朱健梅．竞争性运输通道选择的博弈模型研究[J]．西南交通大学学报．2003,38(3):336－340.

[2] 魏德勇．京兰通道(北京－集宁段)运输组织研究报告[R]．成都：铁道第二勘察设计院．2003:1－4,23－60.

[3] 彭其渊．网络列车运行图模型算法研究及系统设计[D]．西南交通大学，工学博士．1998:13－16.

[4] 闫海峰，彭其渊，殷勇．集装箱班列编组计划优化模型研究[J]．铁道学报．2003,25(5):14－18.

[5] 《现代数学手册》编纂委员会．现代数学手册·近代数学卷[K]．武汉：华中科技大学出版社，2001.

[6] James P．Ignizio．闵仲求，李毅华，谭玮译．单目标和多目标系统线性规划[M]．上海：同济大学出版社，1986.

[7] 彭其渊，闫海峰，殷勇．单线提速区段通过能力和旅行速度的研究[J]．西南交通大学学报．2002,37(5):510－514.

Research on Routing of Trains between Parallel Railroads in the Corridor

TAN Yun-jiang[1]，YAN Hai-feng[2]，GU Guo-lin[3]

(1.School of Traffic and Transportation，Southwest Jiaotong University，Chengdu 610031;2.Institute of Transport and Economy，China Academy of Railway Sciences，Beijing 100081;3.Track Design Department，the Second Survey and Design Institute，Chengdu 610031，China)

Abstract：We abstractly described the corridor system with application of systematic science and engineering theory．Four factors，carrying capacity，traveling speed，operation adjustment and transportation cost were adopted as criterions to evaluate the projects．Thus，the optimized model of train division projects was put forward and the theory of satisfying optimization was used to give birth to the algorithm procedure．Finally，the results were applied to Beijing—Jining section in Jinglan Corridor．

Key words：railway corridor；parallel lines；train division projects；optimized model

中国知网　https://www.cnki.net