

文章编号:1005-0523(2012)04-0092-04

基于直接负荷控制的交通运输市场决策模型

王正彬,郑康立

(西南交通大学交通运输与物流学院,四川 成都 610031)

摘要:直接负荷控制(DLC)对运输市场具有灵活的激励作用,分析了在实施DLC后任意时段的客流量,将其与线路的实际客流量作比较,确定线路所处的状态,针对所处的状态,确定票价的调整比例,以刺激运输市场,诱导客流的走向,缓解客流高峰时段与低峰时段的流量差。由此建立兼顾运输企业和货物收发货人或代理人利益的多目标规划数学模型,并找到了模型的求解算法。

关键词:直接负荷控制;交通运输;多目标规划;高峰负荷;反弹负荷

中图分类号:F506

文献标志码:A

随着经济社会的发展,线路交通压力相应地发生了巨大的变化,具体表现为道路交通流呈现出“潮汐式”的现象,上下班、节假日阶段,线路交通压力巨大,形成了道路流量的波峰,而其它时段道路上客流量却较少,这种现状就造成了峰谷差别较大,尤其是近年来线路压力进一步增大的情况下,为此,就要采取一定的措施来处理这种状况。直接负荷控制(direct load control, DLC)是一种简单实用的控制手段^[1],这种控制方式成功之关键在于设计合理的DLC实施机制并对其进行优化。目前,对客流高峰负荷控制的研究主要是在运输企业的角度上,通过票价制定机理的研究^[2],对客流高峰阶段的票价进行动态调节,即对铁路客运的高峰定价问题进行了研究^[3-4],从而达到减少高峰客流的目的,这种研究方法着重考虑的是运输企业的利益,而对旅客的考虑较少,具有一定的局限性。本文在整个交通运输市场的角度下,从旅客和运输企业两个角度入手,着重分析二者在运输市场下各自的利益。对于运输企业而言,要求高峰时段的客流量与低峰时段的客流量之差较小,减少高峰时段的客流压力,避免“潮汐式”客流量的出现,并以动态票价的形式来引导客流选择不同的运输方式。对于旅客而言,他们希望在出行的过程中票价最低,运输工具有较高的舒适度,这就会引导他们把出行计划调整到客流的非高峰阶段,从而减少出行成本,确保出行的便捷性。这样就可以确保整个运输市场在整个运输周期内的客流量趋于平衡,充分发挥运输设备的使用效率。

1 直接负荷控制分析

对运输市场实施激励措施,它的需求响应包括直接客流(或车流)负荷控制和限制通行控制等。DLC一般针对旅客及货物的收发货人或代理人,所参与的可控制车流(或客流)负荷通常为短时间实施交通管制对相应的运输组织影响不大。实施DLC项目时可以通过多种方式对适用对象进行控制。目前在交通运输业主要有实施临时交通管制和对拥堵路段进行收费,其主要用于降低路网系统高峰时段的负荷和提高路网畅通的可靠性。相应地,DLC的优化决策目标为线路高峰时段负荷最小、实现动态路网流量平衡、最大的营业收入等。在线路运输压力日益增大的运输市场中,要充分地挖掘它的运输潜能,提高使用效率来保证整个线路的畅通运行。本文充分地考虑运输服务对象(旅客及货物的收发货人或代理人)的利益,建立兼顾线路运营企业和运输服务对象利益的多目标规划。目标函数包括最大化运输企业的利益、最小化旅客及货物收发货人或代理人的在途时间和支出费用和最小化道路交通管制的时间等。

收稿日期:2012-04-15

作者简介:王正彬(1970—),男,副教授,博士,研究方向为铁路运输组织优化和客运专线运输组织。

2 DLC决策条件

2.1 运输企业的客流量

根据直接负荷控制项目的要求和客流在各个线路上的高峰负荷分布情况,可以将直接负荷控制中的所有参与负荷分成若干小组。假设其中有 K 组客流参与到运输企业实施的相关控制中,那么所有客流在第 t 时段的可控制负荷为

$$P_t = \sum_{k=1}^K x_{kt} P_{kt} \quad (1)$$

式中: P_t 表示实施 DLC 控制时第 t 时段客流的可控制负荷; P_{kt} 表示实施 DLC 控制时第 k 组客流在第 t 时段的可控制负荷; x_{kt} 表示第 k 组客流在第 t 时段是否被控制(滞留)的 0-1 决策变量,“0”表示未被控制,“1”表示被控制; $k=1, 2, \dots, K$ 。

由于 DLC 的实施,部分客流被滞留于运输线路之外,当解除对其控制之后,之前的可控制的客流负荷重新进入运输系统中,这部分客流负荷试图恢复到之前的状态,它们部分或者全部进入相关的运输线路中,加上原有线路中的负荷,二者叠加之后可能导致出现反弹客流负荷,如果反弹速度太快,将导致大量客流滞留,即出现运输线路的再次客流负荷高峰,将严重影响该线路运输的正常组织。由于客流量有相关的叠加性,那么第 t 时段的客流量就会受到之前时段的影响,其中影响因素较大的是最近的几个时段,根据经验公式,对该问题的描述可以由之前三个时段的客流量相关参数得出,客流反弹负荷公式^[5-6]为

$$P_{R,kt} = aP_{k(t-1)} + bP_{k(t-2)} + cP_{k(t-3)} \quad (2)$$

式中: $P_{R,kt}$ 表示第 k 组客流在第 t 时段的反弹负荷; $P_{k(t-1)}$, $P_{k(t-2)}$, $P_{k(t-3)}$ 分别表示第 k 组客流在第 $t-1$, $t-2$, $t-3$ 时段可控制负荷; a, b, c 分别为相关参数。

通过对可控制客流负荷和反弹客流负荷的分析,可以得出在实施了 DLC 以后,第 k 组客流在第 t 时段的实际客流负荷等于实施 DLC 时的客流与解除 DLC 之后的反弹客流之和,即

$$P_{A,kt} = P_{B,kt} - P_{kt} + P_{R,kt} \quad (3)$$

式中: $P_{B,kt}$, $P_{A,kt}$ 表示实施直接负荷控制之前、之后第 k 组客流在第 t 时段的负荷, $P_{B,kt} - P_{kt}$ 表示实施 DLC 时的车流。由式(1)可知,对于所有的客流而言,实施相关控制后,运输企业客流在第 t 时段的负荷为

$$P_{A,t} = P_{B,t} - P_t + P_{R,t} \quad (4)$$

对运输企业而言,运输负荷就是客流量。

2.2 运输企业的营业收入

线路的运输能力为 Q , 线路的总长度为 S , 由于运量对交通运输营运成本费用具有影响^[7], 非高峰时段道路的单位距离运输成本为 c , 旅客平均票价为 p , 那么在高峰时段, 运输企业通过该路段的单位运输成本增加 Δc , 该路段高峰时段车流量为 $Q_H (Q_H \geq Q)$, 即高峰时段该路段出现拥堵情况, 在高峰时段的运输企业在该路段上运行的受控时间为 Δt , 当其驶入拥堵路段时, 单位运输成本为 $c + \Delta c$ 。

2.2.1 拥堵状态下企业的营业收入

假设第 t 时段客流量为大于线路的运输能力 Q , 相关线路只能满负荷运行, 运量为 Q , 出现拥堵, 运输企业将会对票价进行上浮处理, 以缓解客流压力, 上浮的比例为 i , 在该时段在拥堵路段上运行的距离为 s_q 。运输企业的营业收入为票价收入与运输过程中的支付成本之差, 即

$$F_1 = Q(1+i)p - (c + \Delta c)s + c(S - s_q) \quad (5)$$

由式(5)可见, F_1 越大, 运输企业的营业收入越大, 因此在考虑运输企业营业收入的过程中, 要将目标函数 F_1 最大化。为了确保运输企业在客流高峰实施 DLC 的积极性, 必须保证其营业收入大于等于 0, 即

$$F_1 \geq 0 \quad (6)$$

2.2.2 畅通状态下企业的营业收入

若第 t 时段客流量 q 小于线路的运输能力 Q , 则运输企业所经过的线路处于畅通状态, 为了吸引更多的客流转移到该运输方式上, 提高该运输方式的市场客流占有量和设备的利用效率, 将会对现有票价进行降价处理, 降价的比例为 j , 那么, 运输企业的营业收入 F_2 为

$$F_2 = P_{A,t}(1-j)p - cS \quad (7)$$

由式(7)可以看出, F_2 越大, 表示线路畅通状态下运输企业的营业收入越大, 因此在考虑运输企业营业收入的过程中, 需要将目标函数 F_2 最大化。为了确保运输企业在客流量较小的情况下实施 DLC 的积极性, 必须保证其营业收入大于等于 0, 即

$$F_2 \geq 0 \quad (8)$$

2.3 运输企业服务对象的利益

运输企业的服务对象为旅客及货物的收发货人或代理人, 他们是整个运输市场的重要参与者, 由于在运输的过程中实施了 DLC, 这对服务对象产生了重大的影响。为了诱导更多的旅客或货物在运输的过程中参与到 DLC 中, 在进行 DLC 优化处理的过程中, 必须充分地考虑到服务对象的利益, 减少因为对相关线路实施临时交通管制对运输企业的服务对象造成的等待时间, 提高他们对该运输方式的满意度等。在第 t 时段, 第 k 组客流受到控制的总时间 T_{kt} 为

$$T_{kt} = \sum_{i=1}^{t-1} x_{ki} \Delta t \quad (9)$$

对于旅客及货物的收发货人而言, 基于 DLC 下的运输市场的总受控时间越短越好, 对于一个运输周期 T , 平均受控时间 T_a 为

$$T_a = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \sum_{t=1}^T x_{kt} \Delta t \quad (10)$$

由式(8)可以看出, T_a 的值越小, 代表旅客及货物的收发货人在一个运输周期内的平均受控时间越短, 在考虑运输服务对象的利益时, 需要对目标函数 T_a 进行最小化。由于运输服务对象对一个运输周期内的受控时间有一定的接受范围, 每一服务对象在选择该运输方式时已经了解到一个运输周期内的最大的受控时间 T_{MS} , 即在整个运输过程中的最大晚点时间要在服务对象的可接受范围内, 在 DLC 优化的过程中要受到以下条件的约束为

$$\sum_{i=1}^T x_{ki} \Delta t \leq T_{MS} \quad (11)$$

3 DLC 决策模型

为了保证在运输市场对 DLC 的实施, 在实施 DLC 的过程中必须协调考虑运输企业和旅客及货物收发货人或代理人的利益, 那么实施 DLC 就是为了实现各方的最优目标, 并且充分地利用资源, 诱导客流走向趋于合理化。则目标函数包括运输企业营业收入最大化、受控时间最小化。即

$$\max \{F_1 x_j + F_2 (1 - x_j)\}; \min T_a \quad (12)$$

约束条件为 $F_1 \geq 0$; $F_2 \geq 0$; $\sum_{i=1}^T x_{ki} \Delta t \leq T_{MS}$; $x_j = \begin{cases} 1 & \text{当 } j=1 \text{ 时, 表示线路处于拥堵状态} \\ 0 & \text{当 } j=2 \text{ 时, 表示线路处于畅通状态} \end{cases}$ 。该模型为多目标规划问题, 决策变量为 x_{kt} ($k=1, 2, \dots, k, t=1, 2, \dots, T$)。

4 模型求解算法

由于 DLC 优化决策是一个比较复杂的组合优化数学问题, 一般有传统算法和启发式算法两类解法。由于本模型具有一定的特殊性, 时间可以赋予一定的价值将其转换为收益, 最小化问题也可转换为最大化

问题,这样就能将多目标规划问题转化为单目标规划问题,有利于问题的求解。

对于旅客及货物的收发货人或代理人,时间对于他们来说就有一定的价值,单位时间的价值为 m ,那么平均受控时间的价值为 mT_a ,则新目标函数为

$$\max F = F_1 x_j + F_2 (1 - x_j) - mT_a \quad (13)$$

通过对一定时间内的客流情况进行统计,通过高峰负荷定价模型得出客流量与票价浮动比例的函数,票价的上浮比例 i 和下降比例 j 可以根据客流量从相关函数中可以直接查出。 F_1 是以 s 为自变量的线性函数, F_2 是以客流量 $P_{A,i}$ 为自变量的线性函数,二者容易求解, T_a 是以 x_{kt} 为自变量的0-1整数规划问题,相关教材中有详细的求解方法(全枚举法,隐枚举法^[8])。

5 结语

将直接负荷控制理论引入交通运输业,从整个运输市场的角度综合考虑运输企业和旅客及货物收发货人或代理人的利益,避免了以往站在运输企业的角度考虑问题,建立了DLC的多目标优化决策模型,并对模型进行了相应的转换,找到了针对此模型的求解算法。通过实施DLC,运输企业能够在保证运输能力的情况下,有效地对高峰客流进行诱导,使其转移到其他运输方式上,促进了整个运输市场的和谐发展。运输服务对象在DLC的优化下,在确保运输舒适度和较快捷的情况下,迅速决策适合自身的运输方式和运输时间。实施DLC后,能够有效的引导高峰时段的负荷向低峰时段转移,从而减小高低峰时段的负荷差,使整个运输的组织处于平稳有序之中。

参考文献:

- [1] 唐为民,王蓓蓓,施伟. 基于模糊动态规划的直接负荷控制决策研究[J]. 中国电力,2003,36(8):24-28.
- [2] 王修华. 客运专线旅客票价制定机理研究[J]. 铁道勘察,2008,2(2):91-93.
- [3] 张颖,徐冰. 铁路客运高峰定价模型研究[J]. 沈阳工业大学学报,2008,1(4):349-352.
- [4] 于良春,彭恒文. 中国铁路客运高峰定价模型分析[J]. 中国工业经济,2006,3(1):46-52.
- [5] 张钦,王锡凡,别朝红,等. 电力市场下的直接负荷控制决策模型[J]. 电力系统自动化,2010,34(9):23-28.
- [6] JORGE H, ANTUNES C H, MARTINS A G. A multiple objective decision support model for the selection of remote load control strategies [J]. IEEE Trans on Power Systems, 2000, 7(2):430-436.
- [7] 张新征. 运量及其有关因素对铁路营运成本费用影响的分析[J]. 科技信息,2010,13(1):811-812.
- [8] 焦永兰. 管理运筹学[M]. 北京:中国铁道出版社,2009:109-120.

Transportation Market Decision-making Model Based on the Direct Load Control

Wang Zhengbin, Zheng Kangli

(School of Transportation and Logistics, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract: Direct load control (DLC) has flexible incentive effects on transportation market. The paper analyzes passenger flow volume in any random period after the implementation of DLC. When making comparisons with the actual passenger flow volume, the paper identifies the real state of the lines and decides on ticket price adjustment proportion in order to stimulate transportation market, to guide the direction of the passenger flow and to ease the passenger differential flow of high-peak and low-peak stage. In this way, a multi-objective programming mathematical model can be established, which takes into account the optimum interests of the transport enterprises, the consignees or consignors and the agents, thus working out the solution algorithm model.

Key words: direct load control; transportation; multi-objective programming; peak load; payback load