

运煤专用公路理论通行能力计算方法研究

张建新

中国铁路设计集团有限公司, 中国·天津 300000

摘要: 通行能力对确定运煤专用公路的技术标准具有重要的意义, 但目前运煤专用公路通行能力计算方法的研究较少, 尚未有统一结论。为了更好的推动运煤专用公路合理建设, 基于常规公路通行能力计算方法, 结合运煤公路的交通特点, 选择跟驰理论及模型, 进一步研究贴合实际运行情况下的运煤专用公路理论通行能力的计算方法。该计算方法在相关运煤专用公路项目前期进行了应用, 计算结果与实际情况更加贴合, 对推动项目起到了积极作用。

关键词: 单一车型; 运煤专用公路; 跟驰理论; 理论通行能力

Research on the Calculation Method of Theoretical Traffic Capacity of Coal Special Highway

Jianxin Zhang

China Railway Design Corporation, Tianjin, 300000, China

Abstract: The traffic capacity is of great significance to determine the technical standards of the special coal transportation road, but there are few studies on the calculation method of the traffic capacity of the coal transportation special road, and there is no unified conclusion. In order to better promote the rational construction of the special highway for coal transportation, based on the calculation method of the traffic capacity of the conventional highway and the traffic characteristics of the coal transportation highway, the theory and model of the following road are selected to further study the calculation method of the theoretical traffic capacity of the special highway for coal transportation under the actual operation situation. The calculation method has been applied in the early stage of the relevant coal transportation special highway project, and the calculation results are more consistent with the actual situation, which has played a positive role in promoting the project.

Keywords: single vehicle type; special highway for coal transportation; follow-up theory; theoretical capacity

0 前言

目前, 随着中国“西煤东运”“北煤南运”国家战略的实施, “三西”地区(内蒙古西部、陕西省、山西省)作为中国煤炭主要生产及供应基地, 地区煤炭铁路外运通道基本建成, 能够满足“三西”地区近远期煤炭外运的需求^[1-3]。由于地区煤矿分布比较分散, 煤矿煤炭需要通过公路集运至铁路外运通道。而地方道路建设目的是方便出行, 大多经过居民区, 交通组成复杂, 不仅影响煤炭运输效率, 还对沿线居民的生命财产造成严重威胁。因此, 将运煤公路从路网中分离出来成为当前需要解决的问题。运煤专用公路作为运煤车辆专用的特殊公路, 可以有效连接沿线各个煤矿, 煤炭运输效率提高, 缩短运输行程, 有效解决利用地方道路运输煤炭产生的各种问题。随着近年来煤炭需求量不断增加, 运煤专用公路建设也得到大力发展, 如榆林市榆阳区金鸡滩过境线、锡林郭勒“白林”运煤专用公路等。

通行能力计算在公路工程前期研究中至关重要, 有助于提升交通效率与项目经济性, 同时减少环境影响, 支持可持续发展。目前, 公路通行能力计算是依据行业相关规范规定方法进行, 其特点为混合交通, 车辆自由。而对于单一车型通行能力的研究主要停留在理论研究阶段, 理论模型研究主要基于交通流理论, 包括跟驰模型、流体动力学模型和排

队论等, 与实际项目关联应用较少, 尚未明确单一车型条件下的通行能力计算方法。

因此, 为了能够更准确的得到运煤专用公路的通行能力, 指导运煤专用公路建设, 论文以双向双车道运煤专用公路为例对单一车型条件下的专用公路理论通行能力计算进行研究。

1 通行能力基本概念

通行能力是指公路设施在正常的公路条件、交通条件和驾驶行为等情况下, 在一定的时段(通常取 1h)内可能通过设施的最大车辆数。通行能力根据使用性质和要求, 通常定义为以下三种形式: 基准通行能力、实际通行能力、设计通行能力。

基准通行能力: 在基准的道路、交通、控制和环境条件下, 均匀路段的一条车道或特定横断面上, 特定时段内所能通过的最大小时流率, 通常以 pcu/h/ln (辆标准小客车/小时/车道) 或 pcu/h (辆标准小客车/小时) 为单位。

实际通行能力: 在实际或预计的道路、交通、控制和环境条件下, 已知公路设施的某车道或特定横断面上, 特定时段内所能通过的最大小时流率, 通常以 veh/h/ln (辆自然车/小时/车道) 或 veh/h (辆自然车/小时) 为单位。

设计通行能力：在预计的道路、交通、控制和环境管制条件下，条件基本一致的一条车道或特定横断面上，在所选用的设计服务水平下，特定时间段内所能通过的最大小时流率，通常以 pcu/h/ln 或 pcu/h 为单位。

三者关系如图 1 所示。

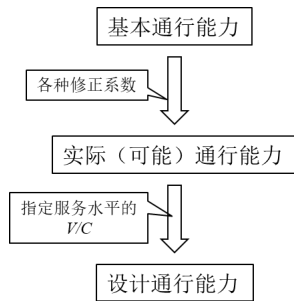


图 1 三种通行能力的关系图^[4-5]

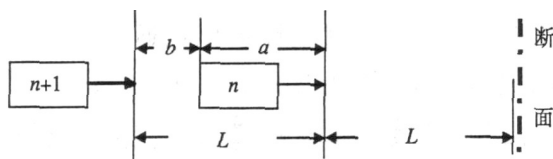
2 运煤专用公路理论通行能力计算方法

2.1 跟驰理论及模型

跟驰理论只研究非自由行驶状态下车队的特性。所谓非自由行驶状态，是指在道路上行驶的一队高密度的车辆，车辆之间距离不大，车队中任一车辆的车速都受前车速度的制约，司机只能按前车所提供的信息而采用相应的车速。非自由行驶状态的车队有三个特性：制约性、延迟性、传递性。

跟驰模型是运用了动力学的方法研究在限制超车的单车道上车辆队列行驶时，后车对前车状态突变所产生的反应，是一种描述单车道上车辆如何跟随前方车辆运动的模型。

本次研究采用线形跟驰模型进行分析，其示意图如图 2 所示。



其中：n, n+1 为标准车辆；L 表示两车间的车头间距；a 表示标准车辆的长度；b 表示两车间的车间距离

图 2 车头时距示意图^[6]

其表达式如下式所示：

$$\ddot{x}_{n+1}(t) = \lambda [\dot{x}_n(t-T) - \dot{x}_{n+1}(t-T)] \quad n=1,2,3,\dots$$

式中： $\ddot{x}_{n+1}(t)$ ——时间 t 时 n+1 车的加速度，m/s²；

$\dot{x}_n(t-T)$ ——时间 t-T 时 n 车的速度，m/s；

$\dot{x}_{n+1}(t-T)$ ——时间 t-T 时 n+1 车的速度，m/s；

t——时间，s；

T——反应时间，s；

λ ——灵敏度，s⁻¹。

2.2 计算思路与方法

2.2.1 基本通行能力计算

本研究将单车道的基本通行能力通过车头时距进行控制^[5]。车头时距指的是在同一车道上行驶的车辆队列中，两连续车辆车头（或车尾）端部通过某一断面的时间间隔。基准通行能力按下列公式进行计算：

$$C_B = \frac{3600}{h_t}$$

式中： C_B ——单向单车道基准通行能力，veh/(h·ln)；

h_t ——车头时距，s。

根据单向交通路段基准通行能力的定义，要求基准通行能力首先要知道最小车头间距。车头间距计算公式如下所示：

$$\text{车头间距} = \text{车头时距} \times \text{车速}$$

车头间距指的是在同一车道上行驶的车辆队列中，前后相邻车头（或车尾）之间的距离，用 L 表示，单位 m。

根据 $L = h_t \times v$ (v 的单位是 m/s)，我们可以得到：

$$C_B = \frac{3600v}{L}$$

式中：v——车速，单位 m/s。

根据交通中的实际情况，车头间距 L 必与车辆的行驶速度 v 有关，即：

$$C_B = \frac{3600v}{L(v)}$$

为了求出单向交通路段基准通行能力，重点就在于确定车头间距与车速 v 之间的函数关系。

根据线性跟驰理论模型对交通流稳定性的分析，当 $0 \leq c \leq e^{-1}$ (=0.368) 时，车头间距不发生波动。车速从 v_1 变为 v_2 时，车头间距的变化量为 Δs ，如果前导车停车，则跟驰车辆的最终速度 $v_2=0$ ，这样车头时距的总变化量为 $-\frac{v_1}{\alpha}$ ，因此跟驰车辆为了不发生碰撞，车间距离的小值应该

为 $\frac{v_1}{\alpha}$ ，相应的车头间距 $L(v) = \frac{v_1}{\alpha} + l$ (l 为车辆长度)^[4]。

$$c = \alpha T \Rightarrow \alpha = (eT)^{-1}$$

式中：T——驾驶员的反应时间，取值 1.5s。

得到 $\alpha=0.2453$ 。

代入计算得到单向交通路段的基准通行能力的计算公式：

$$C_B = \frac{3600v}{L(v)} = \frac{3600v}{\frac{v}{\alpha} + l}$$

2.2.2 实际通行能力计算分析

实际通行能力是由于通常的道路和交通条件与理想条件有较大差距，考虑了影响通行能力的诸多因素（如车道宽、路肩等因素）后，对基本通行能力进行修正后的通行能

力。论文基于运煤专用公路的交通特点，在常规公路实际通行能力的影响因素基础上进行调整，得到单一车型条件下运煤专用公路实际通行能力的计算公式，如下所示：

$$C_p = C_B \times f_w \times f_f$$

式中：C——实际通行能力，veh/（h·ln）；

C_B ——基准通行能力，pcu/（h·ln）；

f_w ——车道宽度、路肩修正系数，JTG D20—2017《公路路线设计规范》。

f_f ——路侧干扰等级修正系数，JTG D20—2017《公路路线设计规范》。

规范规定如表 1 所示。

表 1 规范规定

| | | | | | | | |
|---------|------|------|------|------|------|------|-------|
| 车道宽度（m） | 3.0 | 3.25 | 3.5 | 3.75 | | | |
| 路肩宽度（m） | 0 | 0.5 | 1.0 | 1.5 | 2.5 | 3.5 | ≥ 4.5 |
| 修正系数 | 0.52 | 0.56 | 0.84 | 1.00 | 1.16 | 1.32 | 1.48 |

考虑通行的车辆均为运煤车辆，其外轮廓尺寸属铰接列车，车宽、车长、车高均较大，故建议修正系数在现行规范基础上提高一级。

表 3 划分结果

| | | | | | | |
|--------|-------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------|
| 服务水平 | 一级 | 二级 | 三级 | 四级 | 五级 | 六级 |
| 车辆密度 b | 0 < b ≤ 0.3 | 0.3 < b ≤ 0.5 | 0.5 < b ≤ 0.7 | 0.7 < b ≤ 0.9 | 0.9 < b ≤ 1.0 | 1.0 < b |

根据相关行业标准规定，新建一级及以上公路设计服务水平不能低于三级、三、四级公路设计服务水平不能低于四级。双向双车道运煤专用公路等级参考二级公路，主要作用是煤炭运输，对舒适性要求较低，设计服务水平定为四级。条件困难时，设计服务水平可降低一级。

2.2.4 设计通行能力

设计通行能力是道路的运行状态保持在某一设计的服务水平时，单位时间内道路上可以通过的最大车辆数。

计算公式如下：

$$C_D = C_p \times b$$

式中： C_D ——设计通行能力，veh/（h·ln）；

b——车辆密度。

3 项目应用情况

3.1 项目概况

项目位于山西省忻州市，作为煤炭集运站的运煤专用公路，项目主线设计等级参考二级公路标准，设计速度采用 60km/h，路基宽度拟定为 9.5m，双向两车道。路基本标准横断面为 0.75m 土路肩+0.5m 硬路肩+3.5m 行车道+3.5m 行车道+0.5m 硬路肩+0.75m 土路肩=9.5m，其中路面宽度为 8m。

规定如表 2 所示。

表 2 规定

| | | | | | |
|--------|------|------|------|------|------|
| 路侧干扰等级 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 修正系数 | 0.95 | 0.85 | 0.75 | 0.65 | 0.55 |

考虑到运煤专用公路全线封闭，与地方道路并不交叉，因此其路侧应不受干扰，但是考虑到双向双车道情况下，对向来车对驾驶员存在干扰，由于一般情况下禁止超车，影响有限。因此，论文仍采用 JTG D20—2017《公路路线设计规范》对路侧干扰等级 1 级对应修正系数进行修正。

2.2.3 服务水平分级

服务水平是用路者在不同的交通流状况下，所能得到的速度、舒适性、经济性等方面的服务程度，亦即公路在某种交通条件下为驾驶员和乘客所能提供世伟运行服务质量。服务水平通常由速度、交通密度、行驶自由度、交通中断情况、舒适性和便利程度等来描述和衡量。

考虑到运煤专用公路交通特征及运行管理方式，运煤专用公路服务水平以车辆密度为主要指标进行划分，划分结果如表 3 所示。

3.2 设计通行能力计算

3.2.1 基准通行能力

基准通行能力计算公式如下：

$$C_B = \frac{3600v}{L(v)} = \frac{3600v}{\frac{v}{\alpha} + l}$$

设计速度 60km/h，车长 18.1m，代入公式得到单车道交通路段的基准通行能力为 697pcu/h。

3.2.2 实际通行能力

实际通行能力计算公式如下：

$$C_p = C_B \times f_w \times f_f$$

其中，基准通行能力为 697pcu/h，行车道 3.5m 宽，硬路肩 0.5m 宽，路侧干扰等级为 1 级，代入公式得到单车道交通路段的实际通行能力为 371veh/（h·ln）。

3.2.3 设计通行能力

设计服务水平为四级服务水平，设计车辆密度为 0.8。设计通行能力计算公式如下：

$$C_D = C_p \times b$$

其中，实际通行能力为 371veh/（h·ln），代入公式得到单车道交通路段的设计通行能力为 297veh/（h·ln）。

综合考虑,新建运煤专用公路单向设计通行能力 C_d 取值为 $297\text{veh}/(\text{h} \cdot \text{ln})$ 。满足项目需求。

4 结论

论文提出的运煤专用公路理论通行能力计算方法是通过对观察运煤公路交通特征得到,计算结果可以更好的贴合运煤公路实际通行能力,有利于为确定运煤专用公路的技术标准提供依据。与常规通行能力计算方法相比,本方法主要特点主要如下:

①根据运煤专用公路车辆组成特点,选择运煤车辆作为标准车型。

②根据运煤公路交通特征,选择采用线性跟驰理论模型研究运煤专用公路路段基本通行能力。

③采用车辆密度作为服务水平分级的划分标准。

参考文献:

- [1] 孟昕馨,董雪婷.晋陕蒙地区煤炭运输通道运营对策研究[J].铁道经济研究,2024(2):39-44+50.
- [2] 曾维刚,梁壮,赵冠一,等.我国煤炭运输体系现状、问题及对策研究[J].煤炭经济研究,2022,42(1):17-21.
- [3] 白云峰,王峰,王彤.陕蒙核心区煤炭资源流向及外运能力提升路径研究[J].煤炭经济研究,2023,43(5):57-63.
- [4] 吴娇蓉.交通工程[M].北京:人民交通出版社,2018.
- [5] 王殿海.交通系统分析[M].北京:人民交通出版社,2007.
- [6] 杜家玉,胡尧,王登梅.利用跟驰理论研究单向交通路段基本通行能力[J].贵州大学学报(自然科学版),2010,27(6):11-13.

作者简介: 张建新(1996-),男,中国山东滕州人,硕士,工程师,从事公路工程 and 市政道路研究。

基金项目: 中国铁路设计集团有限公司科技开发课题(项目编号: 2024B03304002)。