

# 山区长大纵坡货车鼓式制动器温度预测研究

徐孝辉<sup>1</sup> 徐修婷<sup>2</sup>

1 贵州省贵阳公路管理局 贵阳 550000; 2 重庆交通大学 经济管理学院 重庆 400074

**【摘要】**本文通过对现阶段常用制动器升温模型的比选,选择 PIARC 升温模型,以实现鼓式制动器温度变化的预测。选用欧曼 6 轴载货汽车为代表车型,对预测模型进行了参数的标定。基于 visual basic 语言,编写大货车鼓式制动器温升计算程序,以实现鼓式制动器升温数据的计算。考虑到 PIARC 升温模型对于不同路段的适用性,选择某公路的连续纵坡路段为研究对象,通过沿途各断面制动器的实测温度与预测温度之间的拟合,得到了修正的 PIARC 升温模型,使之能够更准确地预测货车下坡时的制动器温度变化趋势。

**【关键词】**山区公路; 长达纵坡; 鼓式制动器; 升温

近些年,随着西部大开发战略的不断深入,我国西部地区公路的建设里程逐年递增。西部地区地形以山岭和重丘为主,线路设计过程中不可避免会采取极限指标,其中大坡度的连续坡段会占据相当大的比例,从而形成长大纵坡。虽然近年来相关部门加大了对长大纵坡路段安全保障措施的投入力度,但群死群伤的特、重大交通事故仍时有发生。经统计发现,山区公路交通事故主要发生在长大纵坡路段附近,由于大货车连续制动,导致制动鼓温升失效是造成交通事故的主要原因之一,因此,对大货车在长大纵坡路段上的制动鼓温度的准确预测,可以有效避免事故的发生,并为后续设置避险车道等安全保障措施提供可靠依据。

## 1 鼓式制动器升温模型选择

现阶段国内外学者提出的制动器温升模型主要有回归统计模型和 PIARC 温升模型。

### 1.1 回归统计模型

杨宏志等选取了坡长、坡度、速度以及货车总质量,作为影响车辆制动鼓温度的回归变量,得到了货车制动鼓温度预测模型的经验回归公式。张建军忽略了载重对温度的影响,选取纵坡坡度、车辆下坡速度和车辆距坡顶距离三个影响因素,建立方程,提出了连续长大下坡路段制动器温度预测回归模型。

### 1.2 PIARC 温升模型

PIARC 升温模型将长达纵坡路段的纵坡坡度、坡长,货车载重、速度、制动器系统结构、车辆行驶中的阻力等都作为预测模型的影响因素,建立制动器温度预测模型如下:

$$T(x) = T_0 + \left\{ T_\infty - T_0 + \frac{1-\beta}{10} K_2 \left[ \frac{1}{3.6} \cdot (W \cdot i - F_{drag}(W, v)) \cdot v \right] \right\} [1 - e^{-K_1 x/v}] \quad (1)$$

式中,  $K_1 = hA_c / m_b C$ ,  $K_2 = 1 / hA_c$ ;  
 $T_0$ ——制动器的外部环境温度(°C);  
 $T_\infty$ ——制动器的初始温度(°C);  
 $h$ ——对流换热系数( $W / m^2 \cdot ^\circ C$ );  
 $A_c$ ——货车后轮制动系统有效传导面积( $m^2$ );  
 $m_b$ ——货车后轮制动系统有效传导热质量(Kg);  
 $\beta$ ——货车的制动力分配系数;  
 $C$ ——货车后轮制动系统热容量( $J / (kg \cdot ^\circ C)$ );  
 $W$ ——货车总重(N);  
 $i$ ——连续长下坡路段的纵坡坡度(%);  
 $x$ ——坡段距坡顶的距离(m);  
 $v$ ——下坡时平均车速(m/s)。

参阅相关研究资料,以上预测模型中,回归统计模型只包含了坡长、坡度、载重及速度参数,没有考虑货车制动系统的结构参数,不能反映出不同类型货车在制动性能上的差异;此外,回归模型是单一的坡度和坡长的单调函数,不能体现不同长度坡道的货车行驶状态;回归模型也没有体现阻力对车辆的作用。

PIARC 模型综合考虑纵坡坡长、坡度,车辆的载重、速度、制动器系统结构、车辆行驶中的阻力等因素,计算较精确,本文选择该模型预测大货车的制动器的温度变化趋势。

考虑到 PIARC 模型对不同路段的适用性,本文将某山区公路为例,通过对制动鼓实测温度和预测温度的拟合,确定适合该路段的最优模型。

## 2 制动器升温模型参数标定

### 2.1 对流换热系数 $h$

一般情况下，载重货车后轮摩擦产生的热量较多，制动器温升快。根据文献，由重型车辆试验得到的道路试验数据得出，后轮鼓式制动器的对流换热系数  $h$  与车速  $v$  之间的关系接近于函数关系：

$$h = 5.224 + 1.5525v \cdot e^{-0.0027785v} \quad (2)$$

式中， $h$ ——对流换热系数， $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ；

$v$ ——下坡时车速， $km/h$ 。

### 2.2 车辆运行外界总阻力 $F_{drag}$

车辆运行过程中的总阻力  $F_{drag}$  是滚动阻力和空气阻力之和，根据上述分析，计算公式为：

$$F_{drag} = F_w + F_f = \frac{C_D A}{21.15} v^2 + (0.0076 + 0.000056v) \cdot W \quad (3)$$

式中， $F_{drag}$ ——外界总阻力， $N$ ；

$v$ ——车速， $km/h$ （右式第二项中的  $v$  为去掉量纲后大货车时速值）；

$C_D$ ——空气阻力系数；

$A$ ——大货车迎风面积， $m^2$ ；

$W$ ——车辆总重量， $N$ 。

### 2.3 有效热传导面积 $A_c$ 、热质量 $m_B$ 等参数的确定

鼓式制动器的尺寸千差万别，本文选择欧曼 6 轴载货汽车为代表车型，其鼓式制动器温升模型参数标定值见表 1。

表 1 制动鼓温升模型参数标定表

参数	参数标定值
货车重量	欧曼 6 轴货车，自重 15t，载重 35t，总重 50t
重力加速度 $g$ ( $m/s^2$ )	9.8m/s <sup>2</sup>
制动鼓有效传导面积 $A_c$ ( $m^2$ )	0.4124m <sup>2</sup>
制动鼓材质	HT-250
制动鼓质量 $m_B$ (kg)	67.426kg
制动鼓比热容 $C$ ( $J/kg \cdot ^\circ C$ )	544.3 $J/kg \cdot ^\circ C$
空气阻力系数 $C_D$	1.0
制动力分配系数 $\beta$	0.214
大货车迎风面积 $A$ ( $m^2$ )	6.9 m <sup>2</sup>
制动器环境温度 $T_\infty$ ( $^\circ C$ )	90 $^\circ C$
制动器初始温度 $T_0$ ( $^\circ C$ )	120 $^\circ C$

## 3 制动器温度预测模型实现及修正

### 3.1 预测模型程序开发

运用 visual basic 语言编写“大货车鼓式制动器温升计算程序”。该程序根据制动器温升模型中的参数标定、特定长大纵坡各坡段的坡度、坡长参数以及环境温度和制动器初始温度计算出欧曼 6 轴货车在不同载重情况下的制动器温升数据，程序每隔 300m 计算一组大货车温升数据，对于各坡段的结束处同样计算出大货车的制动器温升数据。根据温升数据绘制出大货车的制动器温升

曲线，得到特定路段大货车鼓式制动器的温度预测结果。程序计算界面如图 1 所示。



图 1 大货车鼓式制动器温升计算程序计算界面

对于温升模型中的速度变量，采用运行速度模型对大货车的运行速度进行计算，进而计算制动器温升值。

### 3.2 实例验证

在某公路连续下坡段进行了的制动鼓温升试验，试验路段为 K346+548-K334+637 段连续下坡，路段长 11.911km，平均纵坡为 1.70%，试验车辆以满载状态行驶，速度维持在 60km/h，本文根据前 10 个坡段的试验结果对制动器温升模型进行修正，试验结果见表 2。

表 2 K346+548-K339+345 段连续下坡制动器温升实测值

起点桩号	终点桩号	纵坡	坡长(m)	速度	坡底制动器实测温度 ( $^\circ C$ )
K346+548	K345+648	2.01	900	60	92
K345+648	K345+148	4	500	60	109
K345+148	K344+848	2.8	300	60	125
K344+848	K344+048	4	800	60	149
K344+048	K343+498	0.3	550	60	174
K343+498	K343+148	4	350	60	142
K343+148	K342+648	2	500	60	207
K342+648	K341+848	4	800	60	214
K341+848	K340+148	1.95	1700	60	268
K340+148	K339+345	0.81	803	60	249

运用本文建立的制动器温升模型对该段长大纵坡路段的大货车制动器温升进行预测，结果见表 3。

表 3 K346+548-K339+345 段连续下坡制动器温升预测值

行驶里程桩号	制动器温度预测值 ( $^\circ C$ )	行驶里程桩号	制动器温度预测值 ( $^\circ C$ )
K346+548	120	K342+848	358.8507
K346+248	126.1684	K342+648	336.8611
K345+948	155.1861	K342+348	406.0354
K345+648	138.4668	K342+048	413.5106
K345+348	170.9335	K341+848	389.8233
K345+148	172.1824	K341+548	436.6968
K344+848	251.7401	K341+248	402.0967
K344+548	371.9268	K340+948	374.3371
K344+248	350.2143	K340+648	352.0658
K344+048	296.9773	K340+348	384.1976
K343+748	353.2319	K340+148	404.2943
K343+498	312.6285	K339+848	369.6458
K343+198	370.5478	K339+548	325.8016
K343+148	350.4831	K339+345	365.6247

运用 SPSS 的曲线拟合对 K346+548-K339+345 段连续下坡大货车制动器温度的实测值和预测值进行分析, 得到回归模型汇总和参数估计值见表 4。

表 4 模型汇总和参数估计值

方程	模型汇总				参数估计值		
	R <sup>2</sup>	F	df1	df2	Sig.	常数	b1
线性	0.759	25.257	1	8	0.001	-2.814	0.582
对数	0.691	17.903	1	8	0.003	-612.492	138.775
幂	0.796	31.180	1	8	0.001	0.890	1.060
S	0.731	21.769	1	8	0.002	5.819	-194.282
指数	0.840	41.915	1	8	0.001	54.166	0.004

根据表 4, 指数曲线拟合 R<sup>2</sup> 为 0.840, 相比于线性、对数、幂和 S 回归更大, 且 F 检验的显著性概率为 0.001, 远小于显著性水平 0.05, 表明指数拟合能很好的表征预测值与实测值之间的关系, 故使用指数拟合对本文建立的制动器温升模型进行修正, 回归模型见式 (4)。

$$\ln y = \ln 54.166 + 0.004x \quad (4)$$

式中,  $x$  ——制动器温度预测值

$y$  ——制动器温度实测值

制动器温度实测值和预测值的拟合关系图见图 2。

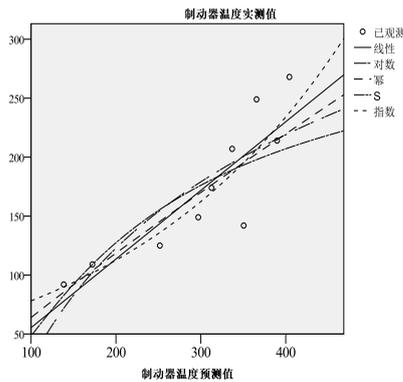


图 2 制动器温度实测值和预测值拟合关系图

对式 (5) 中的参数  $x$  采用式 3 制动器温升模型代入, 得到制动器温升修正模型如下:

$$T(x) = 54.166 \cdot \exp 0.004 \cdot \left\{ T_0 + \left\{ T_x - T_0 + \frac{1-\beta}{6} K_2 \left[ \frac{1}{3.6} (W \cdot i - F_{drag}(W, v)) \right] \right\} [1 - e^{K_1 x}] \right\} \quad (5)$$

式中各符号意义同前。

#### 4 结论

本文比较分析了三种载货汽车制动器温升计算模型, 提出了适合于山区公路长大纵坡载货汽车制动器温升计算模型。借助 visual basic 语言编写的大货车鼓式制动器温升计算程序, 实现了制动器升温数据的计算。以某公路的连续纵坡路段为分析实例, 通过沿途各断面制动器的实测温度与预测温度之间的拟合, 得到了修正的 PIARC 升温模型, 使之有针对性并更准确地预测货车下坡时的制动器温度变化趋势, 为道路安全设计以及设施的合理布置提供参考。

#### 【参考文献】

- [1] 杨宏志, 胡庆谊, 许金良. 高速公路长大下坡路段安全设计与评价方法 [J]. 交通运输工程学报, 2010, 6(3): 10-16.
- [2] 张建军. 连续长大下坡路段避险车道设置原则研究 [D]. 合肥: 合肥工业大学, 2005.
- [3] 陈立辉, 郭忠印. 基于辅助制动长大下坡路段鼓式制动器升温预测模型 [J]. 交通科技, 2017(2): 4-6.
- [4] 雷斌, 许金良, 辛田等. 重载交通区连续下坡坡度危险度分级研究 [J]. 中国公路学报, 2013, 26(6): 53-58.
- [5] 薛刚, 胡立伟, 孙亚南. 模拟长下坡连续制动的中型货车鼓式刹车系统温度阈值分析 [J]. 武汉理工大学学报 (交通科学与工程版), 2015(5): 1069-1072, 1078.
- [6] 靳恩勇, 杜博英. 长大下坡货车制动器温度模型 [J]. 公路交通科技, 2011, 28(2): 133-136.