

铁路中专试用教材

内燃机车牵引计算

郑州铁路机械学校 荆全成 主编

U264-4
007

目 录

绪 论	1
第一章 内燃机车牵引力及牵引特性	61
第一节 内燃机车牵引力的产生过程	61
第二节 内燃机车牵引力的几个概念	15
第三节 粘着牵引力	16
第四节 柴油机牵引力	18
第五节 传动装置牵引力	20
第六节 内燃机车特性	24
第七节 内燃机车的几个牵引计算标准	38
第二章 列车阻力	42
第一节 列车阻力概述	42
第二节 基本阻力的分析	42
第三节 计算基本阻力的经验公式	47
第四节 附加阻力	53
第五节 列车阻力的计算	57
第三章 列车制动力	63
第一节 列车制动力概述	63
第二节 列车制动力的产生过程及其限制条件	63
第三节 闸瓦摩擦系数	66
第四节 实算闸瓦压力	68
第五节 列车制动力的计算	70
第四章 列车运动方程式及其应用	78
第一节 作用于列车上的合力	78
第二节 列车运动方程式	88

第三节	列车运动方程式的应用	(90)
第五章	列车运行时间的解算	(94)
第一节	解算列车运行时间的分析法	(94)
第二节	解算列车运行时间的图解法	(97)
第三节	图解法解算列车运行时间实例	(102)
第四节	绘制速度线的规则和区间运行时间的确定	(108)
第五节	解算区间运行时间的均衡速度法	(114)
第六节	线路纵断面化简	(115)
第六章	牵引重量的计算	(124)
第一节	概述	(124)
第二节	计算坡道上牵引重量的计算	(124)
第三节	动力限制坡道上牵引重量的计算	(128)
第四节	牵引重量的校验	(129)
第五节	牵引定数的确定	(136)
第七章	列车制动问题的解算	(138)
第一节	概述	(138)
第二节	制动空走时间、空走距离及制动有效距离	(138)
第三节	计算制动有效距离、制动距离的分析法和图解法	(141)
第四节	计算制动有效距离、制动距离的等效法和经验公式法	(144)
第五节	列车制动限速和制动率的解算	(154)
第八章	内燃机车燃油消耗量的计算	(161)
第一节	用分析法计算内燃机车燃油消耗量	(161)
第二节	用图解法计算内燃机车燃油消耗量	(169)

绪 论

一、《牵引计算》在铁路运输中的意义

铁路是国民经济的大动脉，具有高度集中半军事性、各个工作环节紧密联系协同动作的特点。因此，各项技术指标的确定，主要设备的配置和使用，必须是科学的，有利的。

《牵引计算》以力学的基本原理为基础，以大量的科学试验资料 and 实际运用经验为依据，阐明机车牵引列车过程中的现象和原理，科学地解决铁路运营上设计上有关的技术问题和技术经济问题。如铁路重要运营指标（列车牵引重量、运行速度和运行时间、机车能量消耗标准等）的确定，铁路通过能力运输能力的计算等等用牵引计算的理论和方法去解决；新修线路困难坡道坡度的确定、站段的配置、变电所给水（煤）点的分布以及合理地选用机型等等，都需要牵引计算的理论知识。另外，在研究改进机车牵引性能、寻求最有利地操纵方法等方面，牵引计算的知识更有直接地指导作用。

二、《牵引计算》的主要内容

牵引计算的主要内容是：

（一）研究列车运动过程中作用于列车上的各种力，阐明各种力的产生过程、变化规律、计算方法以及与列车运动的关系。

（二）研究列车牵引重量、运行速度和运行时间、机车能量消耗等实际问题的计算方法。

（三）研究列车制动问题的解算。如列车制动距离的计算、下坡道最高容许速度的确定以及列车制动率的计算。

（四）研究机车牵引热工特性、充分发挥机车功率的条件以及合理操纵机车的方法等等。

三、《牵引计算》所研究的力

列车运行中，受着各种力的作用，但《牵引计算》只研究与列车运行方向平行的且和列车运动有关的外力。这些力分为以下三类：

（一）机车牵引力 F ；

（二）列车运行阻力 W ；

（三）列车制动力 B 。

上述三种力并非同时存在，而是在列车不同工况时以下列组合形式之一作用在列车上。

牵引运行时，有牵引力和运行阻力；

惰力运行时，只有运行阻力；

制动运行时，有制动力和运行阻力；

无论哪种工况，列车阻力总是存在，牵引力和制动力一般不同时出现。

列车每一工况下受到的作用力的代数和称为合力，以大写C表示。它决定着列车运动的性质和加速度大小。因此，了解作用于列车上各种外力的形成和变化规律，是研究列车运动的基础。

四、《牵引计算规程》

《牵引计算规程》是进行牵引计算的依据，也是统一计算方法、规定各项有关计算标准的法规。主要内容有：

(一) 载明规程的任务和适用范围、计算的精确度、绘图规则和使用符号等。

(二) 规定机车车辆单位基本阻力、起动阻力、各种附加阻力的计算公式或曲线图表。

(三) 规定计算和确定牵引重量、化简线路纵断面、绘制速度线、时间线、确定区间运行时分的原则和方法。

(四) 确定闸瓦摩擦系数、闸瓦压力、列车制动力的计算公式和有关曲线图表。

(五) 确定机车用水、燃料或电能消耗标准的方法和主要数据。

(六) 载明为牵引计算所必须的机车性能资料和计算标准。如机车的计算粘着系数、构造速度、计算速度、计算牵引力、计算起动牵引力、基本阻力等数据及计算电流、校验电机发热用的温度标准等等。

规程中所规定的牵引计算方法和各项标准，是根据现有的设备、实践经验和研究成果而确定的。随着铁路技术装备和机车理论的发展及运用技术水平的不断提高，《牵引计算规程》也应不断地进行修订。即使现实可行的规程，在执行时也必须考虑牵引试验的结果和先进司机的工作经验，以使规程更好地结合实际和指导生产。

五、《牵引计算》中的符号

《牵引计算》课程中所使用的符号按照《牵引计算规程》的规定选取。基本符号一般以拉丁字母表示有单位的量，以希腊字母表示无单位的量。为了便于区别不同概念、不同条件或不同使用范围等情况下同一物理量，用下角标作为区别标志。下角标尽量采用国际常用的。国际常用中没有的选用汉语拼音字母。

本课程使用符号列于下表

本 课 程 使 用 符 号 表

量的名称	符号	现 行 单 位		SI		单位	附 注
		名 称	代 号	名 称	代 号		
列车紧急制动时制动力	B	公 斤 力	公 斤 力 (kgf)	牛 顿	N		1公斤力 =9.81N
列车常用制动力	B _c						
动力制动力	B _d						
列车紧急制动单位制动力	b	公斤力每顿	公斤力/吨 (kgf/t)	牛 顿 每 吨	N/t		1公斤力/吨 =9.81N/t
列车常用制动单位制动力	b _c						
作用于列车上的总合力	C	公 斤 力	公斤力 (kgf)	牛 顿	N		1公斤力=9.81N
作用于列车上的单位合力	c						
空气阻力系数	C _x						1公斤力/吨 =9.81N/t
计算动轮直径	D _i	厘 米	厘 米 (cm)	厘 米	cm		
制动缸直径	d _b						
内燃机车区段燃油消耗量	E	公 斤	公 斤 (kg)	公 斤	kg		
内燃机车空转燃油消耗量	E ₀						
机车出入段及途中调车作 业燃油消耗量	E ₁						
内燃机车牵引运行燃油消耗量	E ₂						
内燃机车区间运行燃油消耗量	E ₃						

表1

量的名称	符号	现行单位		SI单位名称	单位代号	附注
		名称	代号			
每总重万吨公里计的燃油消耗量	e	公斤每万吨·公里	公斤/万吨·公里	公斤每万吨·公里	$\text{kg}/10\text{kt}\cdot\text{km}$	
每总重万吨公里计标准燃油消耗量	e_s					
内燃机车标定功率时的燃油消耗率	e_N	克每马力·小时	克/马力·小时	克每千瓦·小时	$\text{g}/\text{kW}\cdot\text{h}$	1克/马力·小时 = 1.36g/kW·h
柴油机关空转单位时间燃油消耗量	e_0					
内燃机车牵引运行单位时间燃油消耗量	e_T	公斤 每分	公斤/分 (kg/min)	公斤每分	kg/min	
内燃机车区间运行单位时间燃油消耗量	e_{T0}					
机车轮周牵引力	F					
机车持续牵引力	F_C					
机车小时牵引力	F_H					
机车计算牵引力	F_i	公 斤 力	公 斤 力 kgf	牛 顿	N	1公斤力 = 9.81牛顿
机车最大计算牵引力	$F_{i\max}$					
机车计算起动牵引力	F_q					
机车功率修正后牵引力	F_z					
机车计算粘着牵引力	F_μ					
机车指示牵引力	F_i					

表2

量的名称	符号	现 行 单 位				SI		单位	代 号	备 注
		名 称	代 号	名 称	代 号	名 称	代 号			
机车车钩牵引力	F_g	公 斤 力	公斤力 (kgf)	牛	N					1公斤力=9.81N
牵引重量	G	吨	吨 (t)		t					
起动重量	G_q									
柴油机每小时燃油消耗量	G _o	公斤每小时	公斤/小时 (kg/h)	公斤每小时	kg/h					
重力加速度	g	9.81米/秒、秒、秒	9.81m/S·S	9.81米/秒、秒、秒	9.81m/S·S					
海拔 (标高)	H	米	米 (m)	米	m					
化简坡段纵断面的始点标高	H_1									
化简坡段纵断面的终点标高	H_2									
电阻制动电流	I_b									
持续电流	I_c									
牵引电动机电流	I_d	安培	安培 (A)	安培	A					
小时电流	I_H									
主发电机电流	I_F									
最大电流	I_{max}									

表3

量的名称	符号	现行单位		SI		单位	附注
		名称	代号	名称	代号		
坡道坡度	i						
化简坡度	i_h						
坡道的加算坡度	i_j						
坡道化简后的加算坡度	i_{hj}						
列车起动地段的加算坡度	i_q						
曲线附加阻力折算坡度	i_r	千分率	‰	千分率	‰		
隧道空气附加阻力折算坡度	i_s						
限制坡道坡度	i_z						
小半径曲线粘降折算坡度	i_{ur}						
化简坡度与化简地段中任一实测坡度代数的绝对值	Δi						
列车每块闸瓦的实算压力	K	吨	吨力 (tf)	千牛顿	kN		1吨力=9.81kN
列车每块闸瓦的换算压力	K_h						
机车每块闸瓦的换算压力	K'_h						
车辆每块闸瓦的换算压力	K''_h						

表 4

量的名称	符号	现 行 单 位		SI		单 位		附 注
		名 称	代 号	名 称	代 号	名 称	代 号	
牵引区段长度	L	公 里	km	公 里		km		
柴油机活塞冲程	l	厘 米	cm	厘 米		cm		
化简坡段长度	l_h							
实测坡道长度	l_p							
列车长度	l_L	米	米	米		m		
机车全长	l_j		(m)					
曲线长度	l_c							
隧道长度	l_s							
牵引电动机台数	m							
机车柴油机的工作缸数	m_c							
机车牵引力模数	M_n							
机车持续功率	N_c	马 力	马 力	千 瓦		kW		1 kW = 1.36 马力
机车小时功率	N_H							
牵引辆数	n							
制动缸数	n_b							

表 5

量的名称	符号	现 行 单 位		SI 名 号		单 位 代 称		附 注
		名 称	代 号	转 每 分	转 每 分	名 称	代 称	
柴油机转速	n_c	转每分	$\text{min}^{-1}, \text{rpm}$	转/分	转/分	$\text{min}^{-1}, \text{rpm}$		
机车动轮转速	n_L							
制动闸瓦块数	n_K							
柴油机控制手柄位数	n							
机车计算重量	P	吨	吨	吨	吨	t		
机车粘着重量	P_a		(t)					
制动缸空气压力	P_b							1 公斤力/厘米 ² = 0.0981 MPa
列车管空气压力	P_L	公斤每平方厘米	公斤力/厘米 ² (kgf/cm ²)	兆帕斯卡	兆帕斯卡	MPa		
柴油机气缸平均指示压力	P_i							
大气压力	P_a	毫米汞柱	毫米汞柱 mm Hg	千帕斯卡	千帕斯卡	kPa		1 毫米汞柱 = 0.133 kPa
柴油低位发热量	Q_d	千卡每公斤	千卡/公斤 (kcal/kg)	千焦耳 每公斤	千焦耳 每公斤	kJ/kg		1 千卡/公斤 = 4.19 kJ/kg
曲线半径	R	米	米 (m)	米	米	m		
列车管减压量	r	公斤/每平方厘米	公斤力/厘米 ² (kgf/cm ²)	兆帕斯卡	兆帕斯卡	MPa		1 公斤力/厘米 ² = 0.0981 MPa

表 6

量的名称	符号	现 行 单 位		SI		单 位		附 注
		名 称	代 号	名 称	代 号	名 称	代 号	
制动距离	S_b	米	米 (m)	米		米	m	
制动空走距离	S_k							
制动有效距离	S_e							
距离间隔	ΔS	米	米 (m)	米		米	m	
时 间	t	秒、分	秒、分 (s, min)	秒、分		秒、分	s, min	
制动时间	t_b	秒	秒 (s)	秒		秒	s	
制动空走时间	t_k	秒	秒 (s)	秒		秒	s	
制动有效时间	t_e							
时间间隔	Δt	秒、分	秒、分 (s, min)	秒、分		秒、分	s, min	
环境温度	t_a	摄氏度	℃	摄氏度		摄氏度	℃	
牵引电动机端电压	U_D	伏 特	伏 (V)	伏 特		伏 特	V	
牵引发电机电端电压	U_F	伏 特	伏 (V)	伏 特		伏 特	V	

表 7

量 的 名 称	符 号	现 行 单 位		SI 单 位		附 注
		名 称	代 号	名 称	代 号	
运行速度	V	公里 每小时	公里/小时 (km/h)	公里 每小时	km/h	
初始速度	V_0					
速度间隔的初速度	V_1					
速度间隔的末速度	V_2					
机车持续速度	V_c					
机车小时速度	V_H	公里 每小时	公里/小时 (km/h)	公里 每小时	km/h	
机车计算速度	V_j					
机车最低计算速度	$V_{j\min}$					
隧道最低运行速度	$V_{\min}$					
机车构造速度	V_g					
制动终速度	V_s	公里 每小时	公里/小时 (km/h)	公里 每小时	km/h	
列车总阻力	W	公 斤 力	公 斤 力 (kgf)	牛 顿	N	
列车牵引运行总基本阻力	W_0					
列车惰力运行总基本阻力	W_{0d}					
列车坡道总附加阻力	W_i					
列车起动总阻力	W_q					

表 8

量的名称	符号	现 行 单 位		SI		单 位		附 注
		名 称	代 号	名 称	代 号	名 称	代 号	
机车总基本阻力	W_0'	公 斤 力	公 斤 力 (kgf)	牛	牛	N		
车列总基本阻力	W_0''							
列车单位全阻力	w							
列车牵引运行单位基本阻力	w_0							
列车惰力运行单位基本阻力	w_{0d}							
机车牵引运行单位基本阻力	w_0'	公 斤 力 每 吨	公 斤 力 / 吨	牛 顿 每 千 牛 顿	牛 顿	N / kN		1 公斤力 / 吨
机车惰力运行单位基本阻力	w_{0d}'		(kgf/t)					$\approx 9.81 \text{ N/t}$
车辆运行单位基本阻力	w_0''							$\approx \text{N/kN}$
机车单位起动阻力	w_q'							
货车单位起动阻力	w_q''							
坡道单位附加阻力	w_i							
机车车辆曲线附加阻力	w_r							
机车车辆隧道空气附加阻力	w_a							
机车、车辆单位加算附加阻力	w_j							

表9

量的名称	符号	现行单位		SI单位		附注
		名称	代号	名称	代号	
列车惰行等效单位基本阻力	w_{0dx}	公斤力	每吨	N/kN	牛顿·每千牛顿	1 公斤力/吨 = 9.81 N/t = N/kN
机车惰行等效单位基本阻力	w'_{0dx}					
车辆等效单位基本阻力	w''_{0dx}					
柴油机一个工作循环冲程数	Z_c					
曲线中心角	α	度		.	.	
柴油机电率利用系数	β_c					
常用制动系数	β_b					
制动倍率	γ_b					
回转质量系数	γ					
基础制动装置计算传动效率	η_j	%		%	%	
机车传动装置效率	η_c	%		%	%	
齿轮传动效率	η'_c	%		%	%	
牵引电动机效率	η_D					
牵引发电机电效率	η_F	%		%	%	
整流柜效率	η_z					

表10

量的名称	符号	现行单位		SI 单位		附注
		名称	代号	名称	代号	
柴油机热效率	η_R	%	%	%	%	
机车效率	η_j					
列车换算制动率	δ_h					
列车常用制动时换算制动率	$\delta_{h.c}$					
内燃机车牵引力环境温度修正系数	λ_h					
内燃机车牵引力海拔高度修正系数	λ_p					
内燃机车牵引力隧道修正系数	λ_s					
制动时轮轨间粘着系数	μ_b					
齿轮传动比	μ_c					
计算粘着系数	μ_j					
小半径曲线上的计算粘着系数	μ_r					
圆周率	π					
闸瓦与车轮间的换算摩擦系数	φ_h					
闸瓦与车轮间的距离等效换算摩擦系数	$\varphi_{h.e}$					
闸瓦与车轮间的实算摩擦系数	φ_k					
功率因数	$\cos\varphi$					

第一章 内燃机车牵引力及牵引特性

第一节 内燃机车牵引力的产生过程

内燃机车牵引力的产生过程如下，

如图1——1所示，燃料油的化学能，经柴油机转化为机械功，通过传动装置使牵引电动机的小齿轮输出转矩 M' ，假若齿轮摩擦损失、轴承摩擦损失和轮对加速消耗略去不计，经过动轴大齿轮，使机车动轮获得一个与 M' 方向相反的转矩 $M = \mu \cdot M'$ （ μ —齿轮传动比），在转矩 M 作用下动轮产生绕轮心（即轴心）的转动。但是，机车动轮由于轴重紧压在钢轨上，接触点间的粘着作用阻止了动轮与钢轨接触点的相对移动，动轮便以切线力 F_1 （ $F_1 = \frac{M}{R}$ ）作用于钢轨，如

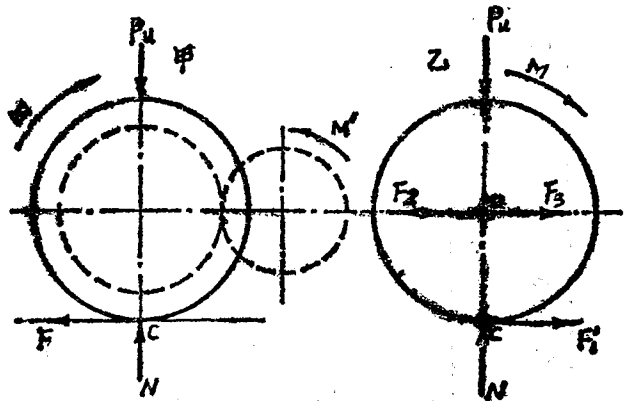


图1—1 内燃机车牵引力形成示意图

图1——1甲所示。

设轮轨间的粘着系数为 μ_1 ，机车动轮压在钢轨上的重量为 $P\mu$ ，则轮轨间阻止接触点相对移动的能力为 $P\mu \cdot \mu_1$ 。只要动轮作用于钢轨的力 F_1 不大于 $P\mu \cdot \mu_1$ ，根据作用与反作用定律，钢轨也必然给动轮一个与 F_1 大小相等方向相反的反作用力 F_1' ，如图1—1乙所示。对机车来说， F_1' 是来自钢轨的外力，并且总是与机车运行方向相同，所以，称为机车牵引力。

为表明牵引力 F_1' 的实质，可将力 F_1' 简化到车轮中心O，得力 F 和力偶 $(F_1' R)$ ，如图1-1乙所示。力偶矩 $F_1' R$ 与转矩 M 平衡，使动轮不发生绕轮心O的转动，形成轮轨接触点C新的运动中心。力 F 通过轴箱传给车架，使机车发生平移运动，同时对轮轨接触点C又形成力矩 $F_1' R$ ，使动轮发生沿钢轨的滚动。在滚动过程中，接触点C随时在变化，所以称为瞬时滚动中心。

上述过程如同人走路一样，脚向后蹬地的力是内力，正是靠这一内力，获得了地给予向前运动的外力。力 F_1' 也是由动轮给予钢轨的作用力 F_1 ，靠轮轨间的粘着条件而得到向前运动的外力。根据作用与反作用定律，只要轮轨间的粘着条件不破坏，力 F_1' 总是等于力 F_1 ，因力 F_1 可以控制和调节，所以，牵引力 F_1' 也可以控制和调节。故机