

中等专业学校教材

列车牵引计算

郑州铁路机械学校 张中央 主编



中国铁道出版社

中等专业学校教材

列车牵引计算

郑州铁路机械学校 张中央 主编

郑州铁路局机务处 孙中央
西安铁路运输学校 陶若冰 主审

中国铁道出版社

2004年·北京

内 容 简 介

本书根据《列车牵引计算规程》(TB/T 1407—1998)的精神,系统地阐述了电力机车与内燃机车牵引力的产生及其牵引特性,列车阻力和列车制动力的计算,列车运动方程式及其应用,牵引质量、列车运行速度和时间、机车能量消耗以及列车制动问题的解算方法及有关规定,最后介绍了列车牵引电算的基本内容。书中贯彻了职业技术教育改革的精神,注重理论结合实际,尽量体现新技术、新方法的应用,对有关铁路技术人员运用列车牵引计算知识解决运输生产中的实际问题具有指导作用。

本书是中等专业学校教材,也可作为铁路高职学生、职工培训教材与技工学校学生学习参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

列车牵引计算. 中专/张中央主编. —北京:中国铁道出版社,2002.1 重印
ISBN 7-113-03714-3

I. 列… II. 张… III. 列车-牵引-计算-专业学校-教材 IV. U260.13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 19304 号

书 名: 列车牵引计算

作 者: 郑州铁路机械学校 张中央

出版发行: 中国铁道出版社(100054,北京市宣武区右安门西街8号)

责任编辑: 赵 静

封面设计: 马 利

印 刷: 北京京海印刷厂

开 本: 787×1092 1/16 印张: 10.5 字数: 260 千

版 本: 2000年5月第1版 2004年3月第5次印刷

印 数: 20001~25000册

书 号: ISBN 7-113-03714-3/U·1026

定 价: 13.80元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社发行部调换。

编辑部电话:(021)73132,发行部电话:(021)73171

前 言

本书是依据铁路中等专业学校机车专业“牵引计算”课程教学大纲及铁道部最新的《列车牵引计算规程》(TB/T 1407—1998)编写的。在编写中贯彻了新《牵规》精神,增选了大量计算所需的参考数据和图表,并参照 CBE 教学法中的 DACUM 表及专业培养目标,结合现阶段现场机车运用实际情况和需要,从打好基础出发,注意联系实际,注重学生能力培养和反映新技术、新方法在牵引计算中的应用。特别是牵引电算内容的引入,既反映了新形势下计算技术的发展,又符合新《牵规》规定。随着计算机应用技术的发展,牵引计算中原来靠手工完成的大量工作将由计算机代替。本书采取手算与电算并重的原则。手算是牵引计算的基本功,仍然需要掌握,予以保留。在有关章节结合了电算,增加了牵引电算一章内容,但对电算只能作概略介绍,使用具体电算软件时,可参阅软件使用说明书。随着牵引电算软件的不断发展和完善,今后电算内容所占份量将会越来越重,此外为了保证教材的规范性,本书尽可能与《牵规》保持一致,将“重量”与“质量”的用法加以规范,如“牵引重量”改为“牵引质量”,但引用《铁路技术管理规程》的内容时仍用“重量”。

为方便读者阅读和理解,每章前面有内容提要 and 重点难点提示,后面有小结。前八章每章均附有复习题和练习题。

列车牵引计算是机车专业的一门专业课。按原来的课程教学大纲规定,本课程安排有一周课程设计。为了贯彻新《牵规》精神,适应新形势下机务运用实际需要,建议把课程设计改为电算演练。演练课题的选取应围绕牵引计算的主要课题进行,尽量结合本铁路局的实际运营线路,突出解算实际应用问题。因各个学校可能选取不同的牵引电算软件,无法编写统一的电算演练指导书,各学校可根据所选软件,结合自身实际情况,自行编写牵引电算演练指导书,供学生上机演练使用。

本书由郑州铁路机械学校张中央主编,郑州铁路局机务处教授级高工孙中央和西安铁路运输学校陶若冰担任主审。编写分工为:绪论、第五章、第八章、第九章由张中央编写;第一章、第二章由郑州铁路局机务处岳建国编写;第三章、第四章、第六章由太原铁路机械学校苏涛编写;本书中的内燃机车部分及第七章由郑州铁路机械学校俎以宏编写。

本书在编写中得到郑州铁路机械学校乔增凯、陈爱国、李学雷、王春生、樊振戌老师的支持与帮助,郑州铁路局机务处程胜利、张孝东提供了一些重要试验数据和资料,在此表示衷心的感谢。

由于水平有限,书中会有缺点和不尽人意之处,衷心希望广大读者批评指正。

编者

1999年12月

目 录

绪论	1
第一章 机车牵引力	4
第一节 概述	4
第二节 机车粘着牵引力	6
第三节 电力机车牵引力及牵引特性	9
第四节 内燃机车牵引力及牵引特性	14
第五节 机车牵引力的计算标准和取值规定	22
小结	42
复习题	42
练习题	42
第二章 列车阻力	43
第一节 概述	43
第二节 基本阻力的分析	44
第三节 基本阻力的计算	47
第四节 附加阻力	51
第五节 列车阻力的计算	53
小结	54
复习题	55
练习题	55
第三章 列车制动力	56
第一节 概述	56
第二节 闸瓦摩擦系数	58
第三节 闸瓦压力	60
第四节 列车制动力的实算法	62
第五节 列车制动力的换算法	63
第六节 机车动力制动力	73
小结	81
复习题	81
练习题	81

第四章 列车运动方程式	83
第一节 概述	83
第二节 合力曲线图	84
第三节 列车运动方程式	89
第四节 列车运动方程式的应用	90
小结	91
复习题	91
练习题	92
第五章 列车制动问题解算	93
第一节 概述	93
第二节 空走时间和空走距离	94
第三节 有效制动距离的计算	96
第四节 列车制动距离计算	96
第五节 有效制动距离的简化算法	102
第六节 列车换算制动率的计算	103
第七节 列车制动限速问题的解算	104
第八节 列车运行监控装置制动模式曲线设计	107
小结	110
复习题	110
练习题	110
第六章 列车运行速度和时间的计算	111
第一节 概述	111
第二节 计算列车运行时间的分析法	111
第三节 列车运行速度和时间的图解法	113
第四节 用垂直线法计算列车运行速度和时间	115
第五节 线路纵断面的化简	120
小结	123
复习题	123
练习题	124
第七章 机车能耗量的计算	125
第一节 电力机车耗电量的计算	125
第二节 内燃机车燃油消耗量的计算	128
小结	134
复习题	134
练习题	134

第八章 牵引质量计算	135
第一节 概述.....	135
第二节 牵引质量的计算.....	136
第三节 牵引质量的校验.....	141
第四节 牵引定数的确定.....	145
小结.....	146
复习题.....	146
练习题.....	147
第九章 牵引电算	148
第一节 概述.....	148
第二节 牵引电算软件简介.....	148
第三节 牵引计算数学模型.....	151
第四节 电算过程屏幕显示与结果输出.....	154
第五节 电算软件的操作和运行.....	155
小结.....	155
附录	156
参考文献	162

绪 论

一、《列车牵引计算》研究的主要内容

列车牵引计算是一门铁路应用学科,它研究直接作用在列车上的、与列车运行方向相平行的各种外力(包括机车牵引力、列车阻力、列车制动力)以及这些力和列车运动的关系,进而解算一系列与列车运动有关的实际问题。它的主要内容是:

1. 研究列车运动过程中作用在列车上的各种力,说明这些力产生的原因、过程、变化规律、计算方法及其与列车运动的关系;
2. 列车运行速度和时间的解算;
3. 牵引质量的计算;
4. 机车能耗量的计算;
5. 列车制动问题的解算;
6. 列车牵引电算化。

二、《列车牵引计算》在铁路运输中的作用及意义

铁路是国民经济的大动脉,它担负着全国客货运量的 50% 以上。我国现代化建设的飞速发展,要求交通运输业具有更大的运能和更高的运输速度,铁路运输面临激烈的市场竞争。为适应新的运输形势对铁路运输的要求,铁路必须进行牵引动力改造、挖潜、提速及扩能。铁路运输的各个环节具有高度集中、紧密相关、协调动作的特点,因此,各项技术指标的确定,主要设备的配置和使用,必须做到科学、有利。《列车牵引计算》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,阐明列车运动过程中的现象和规律,科学地解决铁路运输中的有关技术问题和技术经济问题,如铁路重要运营指标(列车牵引质量、运行速度和运行时分、机车能量消耗标准等)的确定、铁路通过能力的计算、线路的扩能改造、新型机车牵引特性的改进和配置、机车操纵方法的合理有效确定等诸多方面,都需要用牵引计算的基本理论和知识去解决。可见,牵引计算所研究的这些问题直接关系到铁路的运输能力、运量、成本、效率和安全,与铁路许多部门都有密切的关系。在铁路改革发展的新形势下,对铁路运输一线的技术人员和从事相关作业的乘务人员广泛普及列车牵引计算知识显得更为重要。

三、列车牵引计算的特点及其发展

列车牵引计算的最大特点是理论与实际紧密结合,它的许多计算依据是由大量试验得出的试验数据(以试验公式或图表的形式表示)。没有大量的试验就没有牵引计算学的发展。应用牵引计算的基本理论指导实践并及时总结实践经验也很重要。过去进行牵引计算主要依靠手算及图解的原始方法,计算繁琐、复杂,花费时间长,效率低下。近年来,随着计算机应用的普及和深入,使列车牵引计算手段和方法得到了长足的发展。目前,各个铁路局机务运用部门和一些线路设计部门都相继引入牵引电算的方法和技术进行有关计算和绘图,大大节省了计

算时间,提高了计算效率和技术水平。1999年4月实施的新《列车牵引计算规程》中已明确规定采用以电算为主的计算方法,电算程序要满足列车牵引计算规程所规定的各种计算要求。本书第九章对牵引电算进行了专题介绍,供广大读者参考。

四、《列车牵引计算规程》

《列车牵引计算规程》是铁路行业重要的基础技术规范,它规定了牵引计算的基本原则、方法、计算公式,并提供了大量的计算数据资料,是铁路各部门进行牵引计算工作的依据和准则。其主要内容有:

1. 说明规程的任务和适用范围、计算精确度、绘图规则和使用符号等;
2. 规定牵引计算所需的机车车辆的各种计算公式或曲线图表;
3. 规定计算牵引质量、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;
4. 确定机车能耗计算方法和主要数据;
5. 提供进行牵引计算所必须的机车性能资料、主要技术参数,规定计算标准。

解放后我国先后颁布了三部牵引计算规程,从第二部起以铁道部行业标准颁布实施。1957年我国还没有电力机车与内燃机车,根据大量试验结果,并参考前苏联的经验,颁布了《蒸汽机车牵引计算规程》。到了20世纪80年代初,我国电力机车与内燃机车有了相当的发展,根据新的试验研究结果,于1982年颁布了《列车牵引计算规程》(TB 1407—82)。进入90年代,我国铁路牵引动力改革的方针已确定为:大力发展电力牵引和内燃牵引,以电力牵引为主,积极提高电力、内燃机车轴功率和总功率,加快电力、内燃牵引动力改造的步伐。“九五”机务奋斗目标进一步明确规划:客运主要干线实现牵引内电化,干线淘汰蒸汽机车。这样,铁路牵引动力近年来有了更大发展,车辆构成有了重大变化,制动技术和电算技术也有了长足进步,列车提速、重载运输对牵引计算提出了新的要求。根据新的研究成果,铁道部于1998年颁布了新的《列车牵引计算规程》(TB/T 1407—1998,以下简称《牵规》),它将对我国铁路设计、科研和运营工作起到指导作用。

随着我国铁路技术装备及运用技术的快速提高和发展,《牵规》也要根据新的试验和运用经验不断地补充完善和修订,使之能更好地指导运用生产。

五、牵引计算中采用的符号与主要量的单位

为了方便表达物理量之间的数学关系,便于书写、阅读、校对和记忆,采用一定的符号代表一定的物理量。《牵规》规定牵引计算的所有参数均采用法定计量单位。基本符号一般用拉丁字母表示有单位的量,用希腊字母表示无单位的量。计算中所有物理量的符号及计量单位见附表1。

主要物理量的单位及取值规定见表0-1。

表0-1 主要物理量的单位及取值规定

主要物理量名称	单位	取值规定	主要物理量名称	单位	取值规定
区间距离	km	取至2位小数	牵引力、制动力	kN	取至1位小数
坡段长度	m	以整数计	单位牵引力、单位阻力、单位制动力	N/kN	取至2位小数
坡度千分数		取至2位小数	速度	km/h	取至1位小数

续上表

主要物理量名称	单 位	取 值 规 定	主要物理量名称	单 位	取 值 规 定
牵引质量	t	取 10 的整倍数	单位耗电量	kW·h/(10 ⁴ t·km)	取至 1 位小数
区间运行时间	min	取至 2 位小数	内燃机车区段燃油消耗量	kg	以整数计
电 流	A	以整数计	单位时间燃油消耗量	kg/min	取至 2 位小数
电力机车区段耗电量	kW·h	以整数计	单位燃油消耗量	kg/(10 ⁴ t·km)	取至 1 位小数
单位时间耗电量	kW·h/min	取至 2 位小数			

第一章 机车牵引力

内容提要:

- 电力、内燃机车牵引力的形成
- 机车粘着牵引力及粘着特性
- 牵引电动机牵引力和柴油机牵引力
- 机车牵引特性
- 机车牵引力计算标准和取值规定

重点难点:

- 机车牵引力的基本概念
- 机车粘着牵引力及粘着特性
- 牵引特性曲线
- 机车牵引力计算标准和取值规定

第一节 概 述

一、机车牵引力的定义

机车牵引力是与列车运行方向相同并可由司机根据需要调节的外力。它是由机车动力装置发出的内力(不同类型机车的源动力装置不一样)经传动装置传递,在轮周上形成切线力,再通过轮轨间的粘着而产生的由钢轨反作用于动轮周上的外力。

二、机车牵引力的形成

以电力机车为例,牵引力是由牵引电动机产生的内力传给钢轨后得到的钢轨对机车的外力。

电力机车牵引力的产生过程是:接触网的高压交流电由机车受电弓引入主变压器的原边绕组,再经动轮、钢轨,回到牵引变电所构成回路;机车上的主变压器将高压交流电变为低压交流电,由次(副)边绕组经整流器整流后变为直流电供给牵引电动机(交-直传动电力机车),牵引电动机转轴输出转矩 M_d ,并通过齿轮传给动轮,再通过轮轨间的相互作用,引起钢轨对动轮的切向反作用力,即机车牵引力。所以,它的实质是电能变为机械能、内力引起外力的过程。下面我们用力学的方法对这一过程加以分析(图 1-1)。机车通过轮对将重量 P_g (包括轮对自重)压在钢轨上,通过轮轨接触点 C ,有一个钢轨对车轮的法向反作用力 N 。当牵引电动机输出转矩 M_d 时,通过大小齿轮啮合,传递给动轮一个转矩 M 。当 M 驱动半径为 R 的动轮绕圆心 O 旋转时,受到轮轨接触面间摩擦的阻碍。这时车轮与钢轨间有作用力与反作用力。此时 M 转化

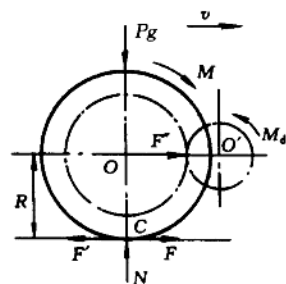


图 1-1 机车牵引力的形成示意图

为 F' 和 F'' 力偶,由 F' 作用于钢轨,得到钢轨的反作用力 F 。由于 F 阻碍了动轮与轨面间的滑动,再由 F'' 推动动轮以 C 为瞬时转动中心滚动,并将力传给轴箱,通过转向架及车架传至车钩,牵引列车前进。根据物理学知识可知,只有外力才能使物体重心发生位移,因此,外力 F 是机车牵引力,其大小为

$$F = \frac{M}{R}$$

三、机车牵引力的分类

1. 按机械功传递顺序分

按机械功传递顺序,机车牵引力分为:

(1)指示牵引力 F_i 假定内燃机车柴油机气缸中燃气对活塞所做的机械功毫无损失地传到动轮周上所得到的机车牵引力。指示牵引力是个假想的概念,可由测定柴油机气缸中的指示功通过计算而得到,只在机车设计上有用。

(2)轮周牵引力 F 实际作用到动轮踏面上的钢轨对动轮的反作用力, $F < F_i$ 。

(3)车钩(后钩或挽钩)牵引力 F_g 在列车等速运行时,它等于轮周牵引力 F 减去机车运行阻力 W' ,是实际作用在车钩上的牵引力,即

$$F_g = F - W' \quad (\text{kN}) \quad (1-1)$$

我国《牵规》规定,机车牵引力以轮周牵引力为计算标准,即以轮周牵引力来衡量和表示机车牵引力的大小。由于动轮直径的变化会影响牵引力的大小,《牵规》又规定,机车牵引力按轮箍半磨耗状态计算。不论是设计还是试验资料,所提供的轮周牵引力和机车速度数据,必须换算到轮箍半磨耗状态。

2. 按能量转变过程分

任何机车都是把输入的能量转化成牵引力所作外机械功的一种工具。这种能量转换要经过若干互相制约的环节。机车一般都有几个能量转换阶段,并相应地有几个变能部分。电力机车的电能是由牵引变电所供给,可以认为它的容量是足够大的,电力机车牵引力的发挥不会受牵引变电所电能供给的限制,进入机车的单相交流电经过变压整流后输入牵引电动机(交直流传动电力机车),将电能转变为带动轮对转动的机械功,然后借助于轮轨间的粘着转变为动轮周上的牵引力所做的机械功。因而电力机车牵引力将要受到牵引电动机和轮轨间粘着这两个变能部分工作能力的限制,而内燃机车牵引力则受到柴油机、传动装置以及轮轨间粘着的限制。对应这些限制,机车的牵引力可按机车类型的不同进行区分:

(1)电力机车

①牵引电动机牵引力 受牵引电动机功率限制的轮周牵引力。

②粘着牵引力 受轮轨间粘着能力限制的轮周牵引力。

(2)内燃机车

①柴油机牵引力 受柴油机功率限制的轮周牵引力。

②传动装置牵引力 受传动装置能力限制的轮周牵引力。

③粘着牵引力 受轮轨间粘着能力限制的轮周牵引力。

在一定条件下,能够实现的机车牵引力是上述这些牵引力中的最小者。

第二节 机车粘着牵引力

一、机车粘着力

机车动轮在钢轨上有3种状态：静止、滚动和滑动，因此动轮与钢轨之间的摩擦系数也有三种：静摩擦系数、粘着系数和滑动摩擦系数。图1-2是轮轨间的受力状况。动轮在钢轨上静止不动时，机车与钢轨的接触和受力情况如图1-2所示。动轮轴重 $P_{\mu}g$ 通过轮轨接触点 C 作用于钢轨上，则钢轨有一法向反作用力 N ，通过 C 点作用于动轮。当牵引电动机通电后，在力矩 M 的作用下，动轮对钢轨有一切向作用力 F_1 。力 F_1 的作用是要向后推钢轨。由于钢轨是被固定在道床上不动，在 F_1 尚未超过静摩擦力最大值时，动轮与钢轨间不会产生滑动。这时，轮轨间的摩擦系数为静摩擦系数，随着牵引电动机电流的增加，动轮作用于钢轨的力 F_1 继续加大，钢轨作用于动轮的切向反力 F_2 也随之加大。但当力 F_1 和 F_2 达到静摩擦力的最大值时，如再加大力 F_1 ，则动轮与钢轨间的摩擦状态就要遭到破坏而产生相对滑动，即发生所谓“空转”。 F_2 不再是静摩擦力，而是滑动摩擦力，并远远小于 F_1 。当动轮在钢轨上正常滚动时，轮轨间的摩擦系数称为粘着系数，摩擦力称为粘着力。粘着与静摩擦有着本质的区别：

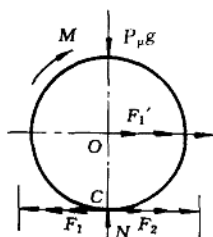


图1-2 轮轨间的受力状况

1. 运动中机车动轮有增载和减载的情况，各动轮轴之间牵引力分配不均。

2. 列车运行中不可避免的要产生各种冲击和振动，车轮在钢轨上滚动的同时还伴随有一定的纵向和横向的滑动；

所以，轮轨间切向反作用力的最大值实际上与运动状态有关，而且比物理中的“最大静摩擦力”小得多。因此，分析轮轨间受力问题不用“静摩擦”这一概念，而以“粘着”来代替。相应地，轮轨间切向反作用力的最大值称为“粘着力”，该力与轮轨间法向载荷的比值称为粘着系数 μ 。而且，为便于计算，还假定在列车运行中轮轨间法向载荷不变，即粘着力的变化完全是粘着系数变化所引起的，从而使粘着力与运动状态的关系被简化成了粘着系数与运动状态的关系，粘着系数成了个假定计算值，叫做计算粘着系数，以 μ_j 表示。

$$\mu_j = \frac{F_2}{N}$$

二、粘着牵引力

由上述分析可知，轮周上的切线力大于轮轨间的粘着力时车轮就要发生空转。在不发生空转的条件下，所实现的最大轮周牵引力称为粘着牵引力，其值按下式计算：

$$F_{\mu} = P_{\mu}g\mu_j \quad (\text{kN}) \quad (1-2)$$

式中 F_{μ} ——计算粘着牵引力，kN；

P_{μ} ——机车计算粘着质量，t；

μ_j ——计算粘着系数；

g ——重力加速度， $g \approx 9.81 \text{ m/s}^2$ 。

三、计算粘着系数

计算粘着系数不同于（小于）理论粘着系数（轮轨间的静摩擦系数），它考虑了机车轴

重和牵引力分配不均、运行中轴重增减载、牵引力的波动、轮轨间的滑动（纵向的和横向的）等不利因素的影响，并且主要与轮轨表面清洁状况和机车运行速度有关。

1. 影响计算粘着系数的主要因素

(1) 接触表面的状态 动轮踏面与钢轨表面愈平整，机车运行接触点的振动愈小，则粘着系数就愈大。天气对粘着系数影响很大，潮湿、降雾、霜或小雨天气以及当轨面有油污、冰霜等不洁物时，粘着系数将下降，但在下大雨钢轨被彻底清洗之后，或适量撒砂、钢轨上有薄锈时，粘着系数将增加。

(2) 运行速度 运行速度低时，由于轮轨间接触点的持续时间相对长一些，机车振动弱，因而粘着系数较大；当运行速度增大时，加剧了机车振动，并增加了车轮滚动时伴随的滑动现象，轮轨接触状态变坏，因而粘着系数下降。

(3) 机车转向架结构因素 轴荷重不均，牵引电机功率不同，动轮直径不等，都会影响机车计算粘着系数。

2. 计算粘着系数的试验公式

计算粘着系数的影响因素复杂，不可能用理论方法计算，只能用专门试验得出的试验公式表达。试验公式表示在正常粘着条件下计算粘着系数和机车运行速度的关系。粘着条件不好时可以用撒砂来改善；改进机车走行部结构可以提高粘着系数；采用防空转装置可以提高粘着系数的利用程度。

《牵规》规定的计算粘着系数公式如下：

(1) 电力机车

$$\text{国产各型电力机车} \quad \mu_j = 0.24 + \frac{12}{100 + 8v} \quad (1-3)$$

$$\text{6K型电力机车} \quad \mu_j = 0.189 + \frac{8.86}{44 + v} \quad (1-4)$$

$$\text{8G型电力机车} \quad \mu_j = 0.28 + \frac{4}{50 + 6v} - 0.0006v \quad (1-5)$$

式中 v ——机车运行速度，km/h。

机车在曲线上运行时，因运动更不平稳，机车的动轮在滚动的同时纵向滑动和横向滑动有所加剧等，因而使粘着系数降低，尤其在小半径曲线上更为明显。在这种情况下需要对计算粘着系数进行修正。三轴转向架电力机车在曲线半径 R 小于 600 m 的线路上运行时，曲线上的计算粘着系数 μ_r 按下式计算：

$$\mu_r = \mu_j(0.67 + 0.00055R) \quad (1-6)$$

(2) 内燃机车

$$\text{国产各型电传动内燃机车} \quad \mu_j = 0.248 + \frac{5.9}{75 + 20v} \quad (1-7)$$

$$\text{ND}_5 \text{型内燃机车} \quad \mu_j = 0.242 + \frac{72}{800 + 11v} \quad (1-8)$$

内燃机车在曲线半径 R 小于 550 m 的线路上运行时，曲线上的计算粘着系数 μ_r 按下式计算：

$$\mu_r = \mu_j(0.805 + 0.000355R) \quad (1-9)$$

现将上述式 (1-3)、(1-4)、(1-5)、(1-7) 和 (1-8) 表达的计算粘着系数与速度的关系列入表 1-1。

表 1-1 各种机车不同运行速度下的计算粘着系数

速度 (km/h) \ 机 型	0	10	20	30	40	50	60
国产各型电力机车	0.360	0.307	0.286	0.275	0.269	0.264	0.261
6K 电力机车	0.390	0.353	0.327	0.309	0.294	0.283	0.274
8G 电力机车	0.360	0.310	0.292	0.279	0.270	0.261	0.254
国产电传动内燃机车	0.327	0.269	0.260	0.257	0.255	0.253	0.253
ND ₃ 内燃机车	0.332	0.321	0.313	0.306	0.300	0.295	0.291

从表 1-1 可见, 随着运行速度的提高, 各种机车的计算粘着系数都有所下降。不同类型机车的计算粘着系数有所区别, 主要原因是它们的走行部结构不同。电力机车中 6K 型机车的计算粘着系数最高, 与它所采用的 B₀-B₀-B₀ 转向架和低位牵引拉杆等结构有关。

四、粘着牵引特性

1. 定义

机车粘着牵引力与机车速度的关系称为粘着牵引特性。

2. 粘着牵引力曲线

将表 1-1 中的计算粘着系数和机车计算粘着质量代入式 (1-2), 即可得出各型机车的粘着牵引力。根据不同速度下的粘着牵引力, 可以在坐标图中绘出粘着牵引力与速度的关系曲线, 称为粘着牵引力曲线, 一般为机车牵引特性曲线图中带阴影的曲线。图 1-3 是 SS₃ 型电力机车的粘着牵引力曲线。

由上述内容可以看出: 机车粘着牵引力是机车牵引力的一个限制值, 牵引电机牵引力、柴油机牵引力是机车本身所具有的能力, 这两部分必须很好地配合才能使机车牵引力发挥在最佳状态。对电力机车来说, 如牵引电动机能力过大而超过粘着牵引力, 则牵引电动机功率不能充分发挥, 机车真正能实现的牵引力是按粘着牵引力限制值得到的粘着牵引力; 反之, 如牵引电动机的牵引力小于粘着牵引力, 则机车牵引力受牵引电动机能力的限制, 机车能实现的牵引力为牵引电动机牵引力。总之, 在不同条件下机车真正能实现的牵引力为以上二种牵引力的小者。例如 SS₄ 型机车 $v = 60 \text{ km/h}$ 时, 粘着牵引力为 470.6 kN, 而牵引电动机在 32-I 级时, 其牵引力为 319.8 kN, 在这种情况下, 轮周上得到的轮周牵引力为牵引电动机牵引力, 其值是 319.8 kN。

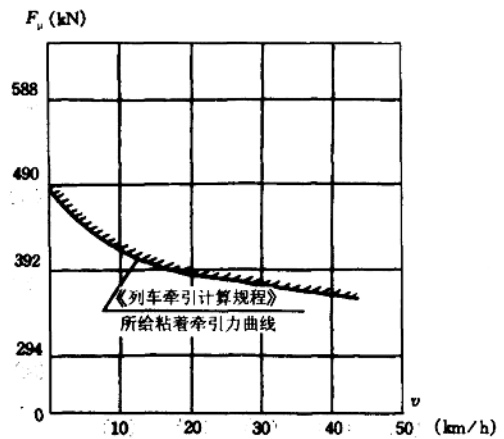


图 1-3 SS₃ 型电力机车粘着牵引力曲线

五、提高粘着牵引力的方法和措施

近年来, 随着电力、内燃牵引技术的发展, 机车功率不断加大, 以及牵引电动机制造水平的日益提高, 粘着能力越来越不能满足牵引力正常发挥的要求, 尤其是在低速和中速运行时, 粘着问题已成为限制牵引力、制动力发挥的关键问题。为此, 除了理论上对轮轨间的粘

着进行探讨研究外，还要在实际运用中掌握机车动轮空转的规律，采取预防措施，以提高粘着系数，并使粘着质量充分被利用，具体措施如下：

1. 改善轮轨接触面的状态

(1) 撒砂。这是目前常用，也是最简单的一种方法。在细雨、下雾、下霜、下雪及冰冻的情况下，轮轨粘着系数会降低 20%~30%，在油污的情况下能降低 50%，这时良好的撒砂可使粘着系数达到 0.225 左右。要求机车乘务员掌握好撒砂时机，同时，正确调整砂管位置，保证撒砂装置作用良好。

早晨钢轨上有一层露水和薄霜时，列车在车站起动后经过道岔或道口，由于振动或轨面污脏，引起粘着系数下降而易发生空转；当列车在困难坡道上起动及运行，或困难坡道上有曲线、隧道等，也易发生空转。这时均应及时适量撒砂，但应注意，当机车已发生空转时，撒砂只会加剧车轮磨损，应慎用。撒砂在高速行车时效果较差，因为砂子不能成功地撒在轮轨之间；在有霜、降雪、落叶和相当厚的油垢情况下，撒砂效果很差，甚至可能无用。为了得到预期的效果，必须使用质量良好（颗粒大小、成分、硬度和湿度适合）的砂子，但大量撒砂或频繁撒砂会影响到轨道电路的信号传输，并且会增加以后通过列车的运行阻力，而且还对滚动轴承不利。因此，在高速列车上采用撒砂来增加粘着系数的方法尽管比较简单、经济，但并不是十分理想的。

(2) 用机械方法来清洁钢轨。用某些机械方法来清除钢轨上的油污，可以使轮轨恢复正常的粘着系数，但是，采用这个方法比较麻烦，不易操作。

2. 提高机车走行部质量

(1) 使机车经常处于良好的技术状态，尽可能使所有的动轮具有相同的轮径；保持弹簧装置的良好状态，使各动轴具有均衡的荷重。

(2) 保持机车走行部的清洁，特别是注意调整好轮缘喷油器的喷头角度，以防止将油喷到动轮踏面与钢轨上。

3. 优化设计

在设计新机车时，应合理选择机车牵引电动机的布置方式，降低牵引点高度，减少簧下质量以减少轴重转移，提高粘着质量的利用率；把多台电动机在机械上连接起来也可以降低空转的可能；还可以采用牵引电动机的无级调速控制，使牵引力变化均匀。

4. 加装空转保护装置

现代新型机车上，装有防空转自动检测保护装置，使机车在空转刚刚发生时，就能检测出来，并能自动采取措施消除空转，以保证机车正常运行。

第三节 电力机车牵引力及牵引特性

一、牵引电动机牵引力

1. 牵引电动机电流 I_d 与运行速度 v 关系—— $I_d = f(v)$

牵引电动机电压平衡方程式为

$$U_d = C_e \Phi n + I_d \sum R$$
$$I_d = \frac{U_d - C_e \Phi n}{\sum R}$$

式中 $\sum R$ ——电枢总电阻；

C_e ——牵引电机电势常数；

Φ ——牵引电机主磁通。

机车速度 v 与牵引电动机转速 n 成正比，即

$$v = \frac{60\pi Dn}{1000\mu_c}$$

则

$$n = \frac{1000\mu_c v}{60\pi D}$$

$$I_d = \frac{U_d - C_e \Phi \cdot \frac{1000\mu_c v}{60\pi D}}{\sum R}$$

式中 μ_c ——齿轮传动比；

D ——机车动轮直径，mm。

令

$$C = \frac{1000\mu_c C_e}{60\pi D}$$

可推出

$$I_d = \frac{U_d - Cv\Phi}{\sum R} \quad (1-10)$$

C 称为机车常数。

上式说明机车和电机的某些结构参数一定时，牵引机电流由其端电压和机车速度决定。

采用恒流准恒速控制的机车，机车运行电流 I_d 随速度 v 和司机控制器手柄位数 n_s 变化，实行特性函数控制。

SS₇ 型电力机车的特性控制函数为

$$I_d = \begin{cases} 150n_s \\ 750n_s - 75v \\ 1300 \end{cases} \quad (n_s = 0 \sim 11)$$

SS₈ 型电力机车的特性控制函数为

$$I_d = \begin{cases} 120n_s \\ 875n_s - 87.5v \\ 1360 \end{cases} \quad (n_s = 0 \sim 18)$$

I_d 取三式中的最小值，单位为 A。

图 1-4 是 SS₈ 型电力机车的 I_d-v 曲线。

2. 机车牵引力与电流的关系—— $F = f(I_d)$

机车牵引力 F 与牵引电动机电流 I_d 之间的关系称为机车牵引力特性。

式 (1-11) 中忽略电枢总电阻的压降 $I_d \sum R$ ，有

$$\frac{U_d}{v} = C\Phi$$

代入 (1-10) 式得

$$F = 3.6mC\Phi I_d \eta_d \eta_c 10^{-3} \quad (\text{kN}) \quad (1-11)$$

图 1-5 是 SS₈ 型电力机车的牵引力特性曲线。