



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

列车牵引计算

LIECHE QIANYIN JISUAN

郑州铁路职业技术学院 张中央 主编
郑州铁路局 孙中央 主审



中国铁道出版社

CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

列车牵引计算

郑州铁路职业技术学院 张中央 主编
郑州铁路局 孙中央 主审

中国铁道出版社

2006年·北京

内 容 简 介

本书根据《列车牵引计算牵规》(TB/T 1407—1998)有关内容,系统地阐述了电力、内燃机车牵引力及其牵引特性,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,列车制动问题的解算方法及有关规定。最后介绍了列车运行监控装置制动模式曲线及牵引电算的基本内容。本书贯彻了高等职业教育改革的精神,注重理论结合实际,及时体现新技术、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。

本书主要对象是铁路高职、中专、技校学生,也可作为职工培训、函授学历教育教材,同时可供铁路机务运用有关技术人员、大专院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

列车牵引计算/张中央主编. —北京:中国铁道出版社,2006.9
ISBN 7-113-07313-1

I. 列… II. 张… III. 列车-牵引-计算 IV. U260.13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 079240 号

书 名:列车牵引计算

作 者:张中央 主编

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

编辑部电话:021-73133(路) 010-51873133(市)

封面设计:薛小卉

印 刷:河北省遵化市胶印厂

开 本:787×1092 1/16 印张:13 字数:320千

版 本:2006年8月第1版 2006年8月第1次印刷

印 数:1~5000册

书 号:ISBN 7-113-07313-1/U·1904

定 价:21.00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。

发行部电话:021-73124(路) 010-51873124(市)

随着我国铁路提速战略的实施和跨越式发展,铁路牵引动力、客货车辆及列车制动技术装备得到了很大发展,新技术、新材料、新工艺、新方法应用更为迅速、广泛,为列车牵引计算提供了新鲜而丰富的资料。特别是 200 km/h 电动车组和大功率交流传动重载机车的陆续运用,又给列车牵引计算提出了新的课题,原有的资料、数据、线图 etc 已不能满足列车牵引计算的实际需要。为了适应铁路牵引动力发展的需要,也为了适应新形势下高等职业技术教育的需要,我们依据新的列车牵引计算课程教学大纲、《列车牵引计算规程》(TB/T 1407—1998)内容,并根据铁路目前牵引动力应用发展情况,增选大量计算所需的参考数据和图表,编写了本教材。本教材已被列入普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

列车牵引计算是电力、内燃机车专业的一门专业课,编者根据专业培养目标,结合现阶段铁路牵引动力运用的实际情况和需要,选定教材内容。教材从打好基础出发,注意联系实际,注重学生能力的培养,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《列车牵引计算规程》(以下简称《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,需要掌握其基本要领和方法。在有关章节结合了电算,并增加了牵引电算一章内容。为了保证教材的规范性,本书尽可能与《牵规》保持一致,把以前的“重量”名称改为“质量”,但引用《铁路技术管理规程》(以下简称《技规》)的内容时仍用“重量”。

全书共分十章。第一章至第四章是列车牵引计算的基础部分,讲述作用在列车上的外力对列车运动的影响和列车运动规律;第五章解决列车制动有关问题,特别是列车有效制动距离的一次简化算法是对制动距离计算的创新和贡献;第六章解决列车运行速度、时间计算问题,重在掌握作图的基本思路和方法;第七章介绍机车能耗量计算方法;第八章介绍牵引质量计算的基本方法,为确定牵引定数提供依据;第九章介绍列车监控装置模式曲线设计应用,是新增内容,也是列车牵引计算应用的又一个课题;第十章介绍牵引电算技术的发展和 application 情况,也是《牵规》的基本要求。为方便读者阅读、理解和巩固,每章后面有本章小结并配有习题。

按照列车牵引计算课程教学大纲规定,本课程安排有一周课程设计。为了贯彻《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牵引电算上机演练。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,故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。

本教材系铁路机车(电力、内燃)专业高职教材,也可作为铁路运输、铁道工程等专业相关课程教材和相应专业中专、技校教材。在具体教学实施时根据实际情况选用教材内容。

本书由郑州铁路职业技术学院张中央主编,教育部推荐专家郑州铁路局机务处教授级高工孙中央主审。编写分工为:绪论、第一章、第五章由张中央编写;第二章、第十章由郑州铁路局机务处张孝东编写;第九章由郑州铁路局机务处岳建国编写;第三章、第六章由太原铁路机械学校苏桃编写;第四章、第七章、第八章由郑州铁路职业技术学院俎以宏编写。参加审稿的有:西安铁路职业技术学院李益民、陶若冰,太原铁路机械学校齐冠峰,广州铁路职业技术学院张秀平。

本书在编写中得到郑州铁路职业技术学院乔增凯、陈爱国、李学雷、华平、王春生、樊振戌老师的支持与帮助,郑州铁路局机务处石现波、程胜利、楚伟炎、崔小喜、赵德然、邓亚伟、陈士全等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,资料收集不全,书中难免会有疏漏、错误和不尽人意之处,衷心希望广大读者和同仁提出批评及改进意见,不断提高教材编写质量和水平,更好地为铁路牵引动力事业服务。

编 者
2006年6月

MULU 目录

绪 论	1
第一章 机车牵引力与牵引特性	4
第一节 概述	4
第二节 机车粘着牵引力	5
第三节 电力机车牵引力及牵引特性	7
第四节 内燃机车牵引力及牵引特性	16
第五节 机车牵引力的计算标准和取值规定	25
第六节 机车功率特性	34
第七节 动车组发展概况及性能简介	37
小结	43
习题	43
第二章 列车阻力	44
第一节 概述	44
第二节 基本阻力	45
第三节 附加阻力	48
第四节 加算坡道阻力、加算坡度千分数及列车长度对附加阻力计算的 影响	50
第五节 线路纵断面的化简	53
第六节 列车阻力计算	57
小结	59
习题	59
第三章 列车制动力	60
第一节 概述	60
第二节 闸瓦摩擦系数	62
第三节 闸瓦压力	64
第四节 列车制动力计算的实算法	67
第五节 换算摩擦系数	68
第六节 换算闸瓦压力	71
第七节 列车制动力计算的换算法	72
第八节 列车换算制动率的取值	77
第九节 机车动力制动力和制动特性	79

小结	95
习题	95
第四章 列车运动方程式及应用	97
第一节 概述	97
第二节 合力曲线图	98
第三节 列车运动方程式	103
第四节 列车运动方程式的应用	104
小结	105
习题	106
第五章 列车制动问题的解算	107
第一节 概述	107
第二节 空走时间和空走距离	108
第三节 有效制动距离的计算	110
第四节 列车制动距离计算	111
第五节 有效制动距离的一次简化计算法	119
第六节 列车换算制动率的计算	120
第七节 列车紧急制动限速的解算	121
第八节 列车常用制动限速	128
小结	135
习题	135
第六章 列车运行速度和时间的计算	137
第一节 概述	137
第二节 计算列车运行速度和时间的分析法	137
第三节 计算列车运行速度和时间的图解法原理	139
第四节 用垂直线法计算列车运行速度和时间的例	141
第五节 绘制速度线、时间线的注意事项及区间运行时分的确定	145
小结	147
习题	147
第七章 机车能耗量的计算	148
第一节 电力机车耗电量的计算	148
第二节 内燃机车燃油消耗量的计算	153
小结	160
习题	161
第八章 牵引质量计算	162
第一节 概述	162
第二节 牵引质量的计算	163
第三节 牵引质量的校验	169
第四节 牵引定数的确定	175
小结	176
习题	176
第九章 列车运行监控装置制动模式曲线	177
第一节 制动模式曲线设计基本思路与方法	177

第二节	监控装置制动模式曲线计算参数	179
第三节	三显示自动闭塞区段的速度监控模式	180
第四节	四显示自动闭塞区段的速度监控模式	183
	小结	186
	习题	187
第十章	列车牵引电算	188
第一节	概述	188
第二节	牵引电算软件简介	188
第三节	牵引计算数学模型	191
第四节	计算过程显示与结果输出	194
第五节	电算软件的操作和运行	195
	小结	195
	习题	196
附录	有关物理量的名称、符号及计量单位表	197
	参考文献	200

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),以及这些力与列车运行的关系,进而解算一系列与列车运行有关的实际问题。它的主要内容是:

1. 研究列车运行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行的关系;
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. 列车运行监控装置制动模式曲线计算;
7. 牵引电算问题。

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。随着我国现代化建设的飞速发展,要求交通运输业有着巨大的运能和更高的运输速度,铁路运输也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,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,阐明列车运行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经济问题。如铁路重要运营指标(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、确定合理有效的机车操纵方法、列车监控装置制动模式曲线设计等诸多方面,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。在铁路跨越式发展的形势下,对于铁路运输一线的管理、技术人员和从事相关作业的乘务人员,广泛普及应用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。几年来,随着铁路数次提速的实施,我国机车车辆及列车制动技术装备又有了巨大进步,为列车牵

引计算提供了新鲜而丰富的资料,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显得非常重要。过去,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。近年来,计算机应用技术的发展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《列车牵引计算规程》中已明确了牵引电算的地位,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。为此,本书对牵引电算问题进行了专题介绍,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。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、主要技术参数和规定计算标准。

解放后我国先后颁布了三版列车牵引计算规程,从第二版起以铁道部行业标准颁布实施。1957年我国还没有电力、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、内燃机车有了相当大的发展,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”计划机务奋斗目标进一步明确:客运主要干线实现牵引内电化,干线淘汰蒸汽机车。2004年第5版《铁路主要技术政策》明确指出:大力发展电力机车牵引技术,积极提高电力牵引承担的换算周转量的比重。在高速铁路、快速铁路、运煤专线、繁忙干线及长大坡道、长隧道、高海拔地区等线路上,应采用电力机车牵引;积极研制高速旅客列车,在旅客运输繁忙的城际铁路可采用电力或内燃动车组,开发应用摆式列车和先进的城市轨道列车;积极发展交流传动技术,逐步完成直流传动向交流传动的转换。这样的铁路建设思路使铁路牵引动力近年来有了更大发展和进步,车辆构成和技术水平有了重大变化,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,根据新的试验研究成果,铁道部于1998年颁布了新的《列车牵引计算规程》(TB/T 1407—1998),即第三版《列车牵引计算规程》(以下简称《牵规》),对我国铁路设计、科研和运营工作起到了重要的指导作用。

第三版《牵规》颁布8年来,我国已研制成功多种新型机车车辆和动车组,特别是交流传动技术,高速、重载技术和列车制动技术有了很大发展,新型制动摩擦材料和列车监控技术也不断进步,为我国铁路技术装备及运用技术的快速提高和发展奠定了良好的基础,《牵规》也要根据新的试验研究成果和运用经验不断地补充完善和修订,这就要求及早编制和颁布新版《牵规》或其补充文件,使之能更好地指导运用生产,以满足铁路跨越式发展的需要。

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、记忆和交流,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。下角标尽量采用国际通用符号。计算中所有的符号及计量单位见书末附录,主要物理量的单位及取值规定见下表。

主要物理量的单位及取值规定表

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
区间距离	km	取至 2 位小数	电流	A	以整数计
坡段长度	m	以整数计	电力机车区段耗电量	kW·h	以整数计
坡度千分数		取至 2 位小数	单位时间耗电量	kW·h/min	取至 2 位小数
牵引力、制动力	kN	取至 1 位小数	单位耗电量	kW·h/(10 ⁴ t·km)	取至 1 位小数
单位牵引力、单位阻力、单位制动力	N/kN	取至 2 位小数	内燃机车区段燃油消耗量	kg	以整数计
速度	km/h	取至 1 位小数	单位时间燃油消耗量	kg/min	取至 2 位小数
牵引质量	t	取 10 的整数倍	单位燃油消耗量	kg/(10 ⁴ t·km)	取至 1 位小数
区间运行时间	min	取至 2 位小数			

第一章 机车牵引力与牵引特性

本章讲述机车牵引力的基本概念。包括机车牵引力的形成,机车粘着牵引力,电力、内燃机车牵引特性,机车牵引力的几个计算标准和取值规定等,最后介绍机车功率特性和动车组发展概况与性能。本章学习要着重理解机车牵引力之间的限制关系,学会使用机车和动车组牵引特性图表,重点掌握有关机车牵引力的几个计算标准和取值规定。

第一节 概 述

一、机车牵引力的基本概念

1. 机车牵引力的定义

机车牵引力是由动力传动装置产生的、与列车运行方向相同、驱动列车运行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(不同类型机车的原动力装置不一样),经传动装置传递,通过轮轨间的粘着而产生的由钢轨反作用于机车动轮周上的切线力。

2. 机车牵引力的形成

以电力机车为例,其牵引力的产生过程为: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(交一直传动电力机车),牵引电动机转轴输出转矩 M_d ,并通过传动装置传递给动轮,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。如图 1-1 所示,机车通过轮对将质量 P 压在钢轨上,在轮轨接触点 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 驱动动轮以圆心 O 旋转时,受到轮轨接触面间摩擦的阻碍。这时车轮与钢轨间产生作用力与反作用力, M 转化为 F' 和 F'' 力偶,由 F' 作用于钢轨,得到钢轨的反作用力 F ,这是一个由钢轨作用于轮对的外力。 F 阻碍了动轮与轨面间的滑动,由内力 F'' 推动动轮以 C 为瞬时转动中心滚动,并将外力传给车轴,通过转向架及车体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,这个切线外力 F 就是机车牵引力,也称为轮周牵引力。

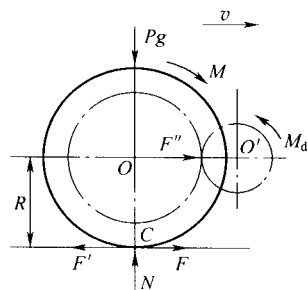


图 1-1 机车牵引力的形成示意图

二、机车牵引力的分类

按照不同条件可以把机车牵引力作如下分类。

1. 按能量传递顺序的分类

(1)指示牵引力 F_i :假定原动机(内燃牵引时就是柴油机)所做的指示功毫无损失地传到动轮上所得到的机车牵引力。指示牵引力是个假想的概念。

(2)轮周牵引力 F :实际作用在轮周上的机车牵引力, $F < F_i$ 。

(3)车钩牵引力 F_g :除去机车阻力的消耗,实际作用在机车车钩上的牵引力。

在列车作等速运行时,车钩牵引力与轮周牵引力有如下关系:

$$F_g = F - W' \quad (1-1)$$

式中 W' 机车阻力。

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轮周牵引力的大小,《牵规》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。机车轮箍半磨耗状态的动轮直径叫做计算动轮直径。我国常速电力机车的动轮直径原形是 1 250 mm,计算动轮直径是 1 200 mm;常速内燃机车的动轮直径原形是 1 050 mm,计算动轮直径是 1 013 mm。动力分散式动车组的动轮直径与客车轮径相同,即 915 mm,计算动轮直径是 880 mm。

2. 按能量转换过程限制关系的分类

任何机车都是把某种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者的限制,进入机车的单相交流电经过变压整流后供给牵引电动机(交直传动电力机车),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、传动装置和轮轨间粘着的限制。对应这些限制,机车的牵引力可分为:

(1)电力机车

①牵引电机牵引力:受牵引电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。

实际条件下,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、粘着牵引力

轮周上的切线力大于轮轨间的粘着力时动轮就要发生空转。在不发生空转的前提条件下所能实现的最大轮周牵引力称为粘着牵引力。其值按下式计算:

$$F_{\mu} = P_{\mu} g \mu_0 \quad (\text{kN}) \quad (1-2)$$

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, $g \approx 9.81 \text{ m/s}^2$ 。

二、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,并且主要与机车转向架结构、轮轨表面清洁状况和机车运行速度等因素有关。

影响计算粘着系数的因素比较复杂,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;采用交流传动以及改进机车走行部结构可以提高粘着系数;采用径向转向架可以提高曲线上的粘着系数;采用防空转装置和轴重转移补偿装置可以提高机车粘着利用程度。

我国《牵规》规定的计算粘着系数公式如下:

1. 电力机车

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

$$(2) \text{ 6K 型电力机车} \quad \mu_j = 0.189 + \frac{8.86}{44 + v} \quad (1-4)$$

$$(3) \text{ 8G 型电力机车} \quad \mu_j = 0.28 + \frac{4}{50 + 6v} - 0.0006v \quad (1-5)$$

式中 v ——运行速度, km/h。

机车在曲线上运行时,因运动更不平稳、轮轨间的滑动加剧等原因,粘着系数比直线上有所降低,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

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

$$(2) \text{ ND}_5 \text{ 型内燃机车} \quad \mu_j = 0.242 + \frac{72}{800 + 11v} \quad (1-8)$$

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:

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

上述式(1-3)、式(1-4)、式(1-5)、式(1-7)和式(1-8)表达的计算粘着系数与速度的关系见表 1-1。

表 1-1 各种机车不同运行速度下的计算粘着系数

$v / (\text{km} \cdot \text{h}^{-1})$	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 型电力机车	0.390	0.353	0.327	0.309	0.294	0.283	0.274
8G 型电力机车	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 ₅ 型内燃机车	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。

我国尚缺交流传动机车计算粘着系数的正规资料,必要时可参阅国外资料。

三、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。根据各型机车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,如机车牵引特性曲线图中带阴影的曲线。由于客运机车的粘着牵引力一般要比传动装置牵引力大许多,机车牵引力不受粘着牵引力的限制,所以客运机车的牵引特性曲线图上通常不把粘着牵引力曲线画出来。

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、原动机牵引力是机车本身所具有的能力,这两部分牵引力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 SS₃ 型机车 $v=60$ 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。

第三节 电力机车牵引力及牵引特性

一、电力机车牵引电动机牵引力

1. 牵引电动机的电流特性

牵引电动机的电流特性,是指在一定的电压下牵引电动机电流 I_d 与运行速度 v 的关系。下面对采用恒压控制和恒流准恒速控制的直流电力机车的牵引电动机电流特性进行分析。

(1)采用恒压控制的电力机车,其牵引电机电流 I_d 与运行速度 v 的关系可以由牵引电动机电压平衡方程式和机车速度与牵引电动机转速的关系导出。牵引电动机电压平衡方程式为

$$U_d - C_e n \Phi = I_d R_d \quad (1-10)$$

式中 U_d ——牵引电动机端电压, V;

C_e ——牵引电动机电势常数;

n ——牵引电动机转速, r/min;

Φ ——牵引电动机主磁通, Wb;

I_d ——牵引电动机电流, A;

R_d ——牵引电动机电枢绕组电阻, Ω 。

式(1-10)中 $C_e n \Phi$ 是反电势, $I_d R_d$ 是内部电压降。该式整理后得

$$I_d = \frac{U_d - C_e n \Phi}{R_d} \quad (1-11)$$

牵引电机转速 n 与机车速度 v 成正比,二者的关系为

$$n = \frac{1\,000\mu_c v}{60\pi D}$$

式中 μ_c ——齿轮传动比；
 v ——运行速度，km/h；
 D ——机车动轮直径，m。
 把上式代入式(1-11)得

$$I_d = \frac{U_d - C_c \frac{1\,000\mu_c v \Phi}{60\pi D}}{R_d}$$

令

$$C = C_c \frac{1\,000\mu_c}{60\pi D}$$

C 称为机车常数。由此可推出

$$I_d = \frac{U_d - Cv\Phi}{R_d} \quad (1-12)$$

式(1-12)说明，当机车和牵引电机的某些结构参数一定时，牵引电机的电流由牵引电机的端电压和机车速度决定。牵引电机的端电压由手柄级位决定，当手柄级位一定，机车速度提高时，牵引电机电流减小。这个变化规律可用图 1-2 表示。该图是采用调压控制方式的 SS_3 型电力机车牵引电机电流与机车速度的关系 $I_d = f(v)$ 。

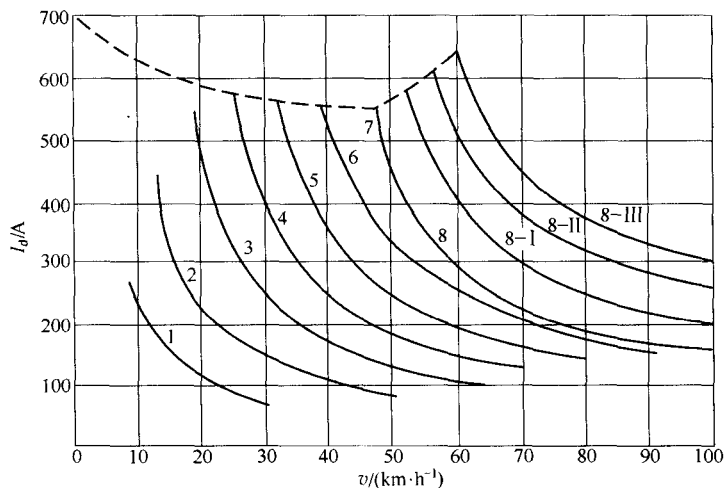


图 1-2 SS_3 型电力机车牵引电机电流 I_d 与运行速度 v 的关系曲线

(2) 采用恒流准恒速控制的电力机车，其牵引电机电流 I_d 随运行速度 v 和手柄级位数 n 变化，由微机实行特性函数控制。如 SS_3 型电力机车特性控制函数为

$$I_d = \begin{cases} 120n & \text{①} \\ 87.5(10n - v) & \text{②} \\ 1\,360 & \text{③} \end{cases} \text{取最小值} \quad (1-13)$$

式(1-13)表示的牵引电机电流与机车速度的关系 $I_d = f(v)$ 可用图 1-3 表示。

在国内早期出版的一些电力机车书籍中，把“牵引电机的电流特性”说成“机车速度特性”，把表达牵引电机电流 I_d 与运行速度 v 的关系的式(1-12)写成

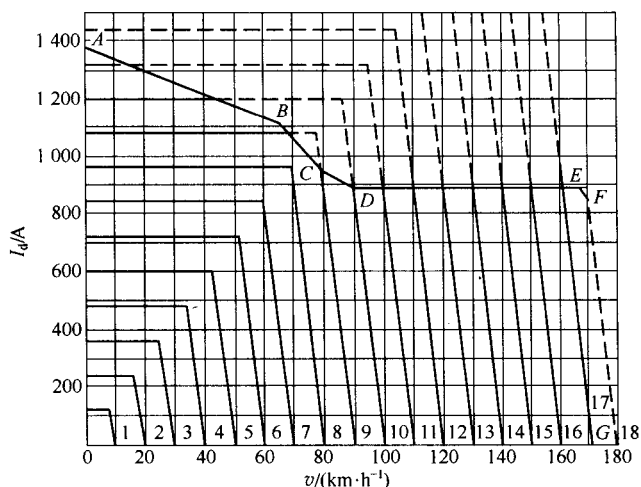


图 1-3 SS₈ 型电力机车牵引电机电流 I_d 与运行速度 v 的关系曲线

$$v = \frac{U_d - I_d R_d}{C\Phi}$$

并且在牵引电机电流 I_d 与运行速度 v 的关系的坐标图(图 1-2 及图 1-3)上,用横坐标代表电流 I_d ,用纵坐标代表速度 v 。实际是速度决定电流,即在牵引电机电压(级位)一定时,电流随速度变化,而非电流决定速度。速度的变化,归根结底取决于牵引力与运行阻力的关系。在电流和速度的关系中,速度是决定因素,电流是被动的因素。在用公式表达两个函数的依赖关系时,起决定作用的函数变量一般写在等号的右侧,在用直角坐标表达这种关系时,起决定作用的变量一般作为横坐标。电机电流与速度的关系和轮周牵引力与速度的关系是一致的,也应当以速度为横坐标、以电流为纵坐标比较合适。

2. 机车牵引力特性

机车牵引力特性,是指机车牵引力 F 与牵引电机电流 I_d 的关系。

机车牵引力 F 与牵引电机电流 I_d 的关系,可以由电机的电磁转矩公式和牵引力转矩的关系导出。

1 台直流电机的电磁转矩公式如下:

$$M = C_m \Phi I_d \quad (\text{Nm})$$

式中 Φ ——每极磁通量, Wb;

I_d ——电枢电流, A;

C_m ——电机的转矩常数(仅与电机结构有关):

$$C_m = \frac{pN}{2\pi a}$$

其中 p ——主极对数,

N ——电枢绕组导体数,

a ——电枢绕组支路对数。

机车牵引力在动轮上的转矩与牵引电机传到动轮上的转矩(乘以有关效率)相等,即

$$F \frac{D}{2} \times 1000 = mM\eta_d \eta_c$$