

铁路职业教育铁道部规划教材

# 列车牵引计算与操纵

LIECHEQIANYINJISUANYUCAOZONG

TIELU ZHIYE JIAOYU TIEDAONU GUIHUA JIAOCAI

苏桃 主编

中专

中国铁道出版社  
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE



铁路职业教育铁道部规划教材

(中 专)

# 列车牵引计算与操纵

苏 桃 主 编  
张中央 主 审

中国铁道出版社

2008年·北京

## 内 容 简 介

本书根据 1998 年颁布实施的《列车牵引计算规程》和 2000 年颁布的《机车操作规程》有关内容,阐述了列车牵引计算的基本理论及计算、电力机车操纵的基本知识及方法。主要内容有:机车牵引力的产生及其牵引性能,列车运行阻力的产生及其计算,列车制动力的产生及其计算,列车运动方程式及其应用,列车运行速度和时间、列车制动问题、机车能耗量、牵引质量的解算方法及其实际应用,牵引电算的基本知识,机车在站段的作业及操纵,列车运行中的操纵,制动机的操纵方法等。本书从打好基础出发,注意联系实际,以够用为度,实用为目的,突出能力培养。

本书为铁路中专学历教育电力机车驾驶专业教材,也可作为电力机车、铁道运输等专业的中专、成人中专、技工学校教材。

### 图书在版编目(CIP)数据

列车牵引计算与操纵:中专/苏桃主编. —北京:中国铁道出版社,2008.6

铁路职业教育铁道部规划教材

ISBN 978-7-113-08932-0

I. 列… II. 苏… III. ①列车—牵引计算—专业学校—教材②列车—牵引—操纵—专业学校—教材 IV. U260.13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 074946 号

书 名:列车牵引计算与操纵

作 者:苏 桃 主编

责任编辑:赵 静

电话:(010)51873135

电子信箱:td73133@sina.com

封面设计:陈东山

责任校对:孙 玫

责任印制:金洪泽 陆 宁

出版发行:中国铁道出版社(北京市宣武区右安门西街 8 号 邮政编码:100054)

网 址:[www.tdpress.com](http://www.tdpress.com)

电子信箱:发行部 ywk@tdpress.com

总编办 zbb@tdpress.com

印 刷:北京华正印刷有限公司

版 次:2008 年 6 月第 1 版 2008 年 6 月第 1 次印刷

开 本:787×1092 1/16 印张:11.25 字数:280 千

书 号:ISBN 978-7-113-08932-0/U·2218

定 价:22.00 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,请与本社读者服务部调换。

电 话:(市电)(010)51873170 路电(021)73170(发行部)

打击盗版举报电话:市电(010)63549504 路电(021)73187

# 前 言

本书为铁路职业教育铁道部规划教材,是根据铁路中专教育电力机车驾驶专业“列车牵引计算与操纵”课程教学大纲,并参照铁路职业技能规范编写的。

“列车牵引计算与操纵”是电力机车驾驶专业的一门专业技术课。编者根据专业培养目标,结合现阶段铁路牵引运用和列车操纵的实际情况和需要,选定教材内容。教材从打好基础出发,注意联系实际,以够用为度,实用为目的,突出能力培养。

本书包括列车牵引计算和电力机车操纵的内容,共分为十二章。其中第一章至第九章为列车牵引计算,主要讲授作用在列车上的外力以及列车运动规律;与列车运行有关的一系列实际问题的解算,包括列车制动问题解算、列车运行速度和时间的计算、机车能耗量的计算、牵引质量的计算;列车牵引电算软件。第十章至第十二章为电力机车操纵,主要讲授机车站段的作业及操纵、列车途中运行的操纵以及制动机的操纵。本书编写时以我国货运主型电力机车SS<sub>4</sub>和SS<sub>4</sub>改型电力机车为典型车型。

本书是一本适合自学和应用于理论教学,又贴近生产实际的教材。可作为铁路复退军人中专学历教育电力机车驾驶专业教材使用,也可作为电力机车、铁道运输等专业的中专、技校教材。本书为便于学习巩固和自学,采取了在每节后给出练习题,每章给出本章重点、小结和自测题的形式编写,不仅突出了重点、难点,同时也有利于读者及时掌握所学知识。每节后的练习题有助于掌握本节内容,题型包括填空、判断、选择、简答和综合题五种。个别题不能在本教材中找到直接答案,须认真分析和灵活掌握教材中的内容后才能得出正确答案。学习过程中可根据实际情况作适当的取舍。

在使用本教材时,要坚持理论与实践相结合的原则,应避免“重理论,轻实践”的错误做法;要扩大学习的自主性;要利用好每节后的练习题和每章后的自测题。

本书由太原铁路机械学校苏桃主编,郑州铁路职业技术学院张中央主审。第一、二、三、四章由广州铁路职业技术学院张秀平编写,第五、六、七、八、九、十二章由苏桃编写,第十、十一章由太原铁路局湖东电力机务段刘宝龙编写。本书在编写过程中得到铁路机车专业教学指导委员会的大力支持;得到太原铁路机械学校张龙、王冰、武学工和南京铁道职业技术学院杨瑞柱老师的支持和帮助,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,教材中难免有缺陷、错误和不足之处,恳请广大读者批评指正和提出改进意见。

编 者

2008年1月

# 目 录

绪 论	1
第一章 电力机车牵引力与牵引特性	4
第一节 概 述	4
第二节 机车黏着牵引力	6
第三节 电力机车牵引特性	9
第四节 机车牵引力的计算标准和取值规定	15
小 结	21
自测题	21
第二章 列车阻力	23
第一节 概 述	23
第二节 基本阻力	24
第三节 附加阻力	28
第四节 线路纵断面化简	31
小 结	34
自测题	34
第三章 列车制动力	36
第一节 概 述	36
第二节 闸瓦摩擦系数	38
第三节 闸瓦压力	40
第四节 列车制动力的实算法	42
第五节 列车制动力的换算法	43
第六节 列车换算制动率的取值	51
第七节 机车动力制动力和制动特性	53
小 结	59
自测题	59
第四章 列车运动方程式及应用	61
第一节 作用在列车上的合力	61
第二节 合力曲线图	62

第三节	列车运动方程式 .....	66
第四节	列车运动方程式的应用 .....	67
小 结	.....	69
自测题	.....	69
<b>第五章</b>	<b>列车制动问题的解算 .....</b>	<b>70</b>
第一节	概 述 .....	70
第二节	空走时间和空走距离 .....	71
第三节	有效制动距离的计算 .....	73
第四节	列车制动距离计算 .....	74
第五节	有效制动距离的简化计算法 .....	76
第六节	列车换算制动率的计算 .....	77
第七节	列车制动限速 .....	78
小 结	.....	87
自测题	.....	87
<b>第六章</b>	<b>列车运行速度和时间的计算 .....</b>	<b>88</b>
第一节	概 述 .....	88
第二节	计算列车运行速度和时间的分析法 .....	88
第三节	计算列车运行速度和时间图解法原理 .....	91
第四节	用垂直线法计算列车运行速度和时间之例 .....	93
第五节	绘制速度线、时间线的相关规定 .....	97
小 结	.....	99
自测题	.....	99
<b>第七章</b>	<b>机车能耗量的计算 .....</b>	<b>101</b>
第一节	电力机车耗电量的计算 .....	101
第二节	内燃机车燃油消耗量的计算 .....	106
小 结	.....	110
自测题	.....	111
<b>第八章</b>	<b>牵引质量计算 .....</b>	<b>112</b>
第一节	概 述 .....	112
第二节	牵引质量的计算 .....	113
第三节	牵引质量的校验 .....	118
第四节	牵引定数的确定 .....	123
小 结	.....	124
自测题	.....	124

<b>第九章 列车牵引计算</b> .....	126
第一节 牵引电算软件简介.....	126
第二节 牵引计算数学模型.....	129
第三节 牵引电算软件的操作和运行显示.....	130
小 结.....	132
自测题.....	132
<b>第十章 机车在站、段的作业及操纵</b> .....	134
第一节 接车与发车.....	134
第二节 终点站与入段.....	137
小 结.....	139
自测题.....	140
<b>第十一章 列车运行</b> .....	141
第一节 列车途中运行的注意事项.....	141
第二节 列车的正点运行和速度观测.....	145
第三节 坡道操纵.....	148
第四节 组合列车的平稳操纵.....	151
第五节 特殊条件下的操纵.....	153
小 结.....	155
自测题.....	155
<b>第十二章 制动机的操纵</b> .....	157
第一节 制动机操纵的基本知识.....	157
第二节 旅客列车制动机的操纵.....	160
第三节 货物列车制动机的操纵.....	162
第四节 非正常情况下的操纵.....	165
第五节 电阻制动的操纵.....	167
第六节 防止列车断钩和坡停.....	168
小 结.....	170
自测题.....	170
<b>参考文献</b> .....	172

# 绪 论

## 一、学习列车牵引计算与操纵的目的

铁路运输任务完成质量的好坏,与机车驾驶人员技术水平的高低关系极大,因此,如何科学地使用好电力机车,充分发挥它的效能,掌握它的运行规律,以提高列车牵引质量和运行速度,多拉快跑,安全正点地完成运输任务,是我们必须研究的课题。只有了解和掌握了机车的牵引性能,列车运行的一般规律和有关操纵知识,才能正确操纵机车、爱护机车,合理运用机车功率,安全正点、多快好省地完成运输任务。

## 二、列车牵引计算与操纵的主要内容

本课程研究影响列车运行的各种因素,认识列车运行的规律,从而达到合理驾驶机车,提高操纵技术,充分发挥机车的效能,提高机车的经济性和运用效率的目的。

本课程可分为列车牵引计算和电力机车操纵两部分。

列车牵引计算是本课程的基础。列车牵引计算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以及这些外力和列车运行的关系,进而解算一系列与列车运行有关的实际问题。主要内容是:研究机车牵引力、列车阻力、列车制动力,说明这些力产生的原因、过程、变化规律及其与列车运动的关系;解算列车运行速度和时间、制动距离、机车能耗量、牵引质量等问题;牵引电算问题。

电力机车操纵是以牵引计算理论为依据,在列车不同的运行条件下,因地制宜地采取合理的手柄操纵方法以及制动机的使用方法,达到安全、迅速、经济的效果。

## 三、列车牵引计算与操纵的特点和发展

列车牵引计算与操纵的最大特点是理论与实际紧密结合,列车牵引计算的许多计算依据是大量试验数据,没有大量的试验作为基础就没有牵引计算的发展;电力机车操纵更是以牵引计算为基础,结合大量的运用经验。近几年来,我国机车车辆及列车制动技术装备又有了巨大的进步,为列车牵引计算与操纵提供了新鲜而丰富的资料,应用牵引计算的基本理论和机车操纵的基本方法指导实践并及时总结实践经验也显得十分重要。

近年来,计算机应用技术的发展和深入使列车牵引计算方法得到快速发展。目前,各个铁路局机务运用部门相继引入了牵引电算的方法和技术。为此,本书对牵引电算软件进行了简要介绍,作为电力机车驾驶专业的学员也应有所了解。

## 四、《列车牵引计算规程》与《机车操作规程》

### 1.《列车牵引计算规程》

由于列车牵引计算与铁路很多部门有着密切的关系,为了使各部门在进行列车牵引计算时有统一的依据和具有可比性,铁道部已三次制定和颁布《列车牵引计算规程》(以下简称《牵



规》)。《牵规》是铁路行业重要的基础规范,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,是铁路部门进行牵引计算的依据和准则。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需的机车性能资料、主要技术参数和规定计算标准。

为了适应不断发展变化的铁路和机车车辆运用条件,《牵规》也要不定期地进行修订和改进。建国之初还没有电力、内燃机车,根据大量试验结果,1957年12月颁布了《蒸汽机车牵引计算规程》。第二版《牵规》是1982年7月颁布、1983年1月开始实行的。该《牵规》包括蒸汽、内燃和电力三种牵引方面的内容,比第一版《牵规》有了长足的发展和改进。从1983年以来,我国的法定计量制由采用工程单位制(米制)改成了采用国际单位制;电子计算机在列车牵引计算上的应用日益广泛;滚动轴承在货车中应用的比例迅速上升,已经占了绝大多数;列车的牵引质量和运行速度不断提高,新型的机车、车辆,新的制动方式和新型制动机不断涌现。有鉴于此,铁道部又在1998年10月发布了第三版《牵规》(TB/T 1407—1998,简称新《牵规》),并于1999年4月实行,对我国铁路设计、科研和运营工作起到了重要的指导作用。与第二版《牵规》相比,它修改、补充和增加的内容有:全面采用了新的以国际单位制为基础的国家法定计量单位制;增加了新型机车车辆的数据和曲线;修改和增加了新型内燃、电力机车的单位基本阻力公式;修改了内燃、电力机车黏着系数和小半径曲线黏着系数的计算公式;修改和增加了牵引质量计算公式;增加滚动轴承货车和新型客车的单位基本阻力公式;增加了高磷闸瓦、低摩合成闸瓦、高摩合成闸瓦和客车盘型制动闸片的摩擦系数和闸瓦压力的计算公式;修订了客、货列车制动空走时间和单机空走时间的计算公式;增加了列车牵引计算法的条文,明确地规定“以电算为主”。

第三版《牵规》颁布9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发展奠定了良好的基础,这就要求及早编制和颁布新版《牵规》。

## 2. 《机车操作规程》

为使机车乘务员操作规范化、标准化,在原《蒸汽机车操作规程》、《内燃机车操纵和保养手册》和《电力机车操纵和保养守则》的基础上,总结了多年来的实际工作经验,铁道部于1988年5月颁布了《机车操作规程》(以下简称《操规》)。为适应铁路运输生产和科学技术不断发展的需要,确保列车运行安全、正点,在广泛征求意见的基础上,铁道部又进行了重新修订,于2000年5月颁布了新的《操规》。

《操规》是机车乘务员的作业标准,是机车乘务员正确驾驶、保养机车和平稳操纵列车的依据。除本课程中的机车操纵部分以该规程为标准外,机车乘务员和有关运用干部都必须认真学习和严格执行本规程的规定。与《牵规》同样,《操规》也不是固定不变的,它也随着科学技术的发展、设备的更新,管理和操纵水平的提高不断地发展和完善。

### 五、牵引计算中符号的制定原则和主要量的单位

在列车牵引计算中,为了便于表达物理量之间的数学关系,并便于今后的书写、阅读、校对和记忆,采用一定的符号代表一定的物理量。所用符号是按下列基本原则制定的:

(1)按照《牵规》的规定选取,尽量符合国际标准和国家标准,并适当照顾过去的使用习惯;  
 (2)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。符号必须用斜体印刷;

(3)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的同一物理量,用下角标作为区别标志。下角标尽量采用国际通用的,国际通用中没有的,选用汉语拼音字母。

列车牵引计算中主要物理量的名称、符号、单位及取值规定见表 0-1。

表 0-1 主要物理量的名称、符号、单位及取值规定表

名 称	符 号	单 位	取 值 规 定
区间距离	$S$	km	取至 2 位小数
坡段长度	$L$	m	以整数计
坡度千分数	$i$		取至 2 位小数
牵引力、阻力、制动力	$F, W, B$	kN	取至 1 位小数
单位牵引力、单位阻力、单位制动力	$f, w, b$	N/kN	取至 2 位小数
速度	$v$	km/h	取至 1 位小数
重力加速度	$g$	m/s <sup>2</sup>	取至 2 位小数
闸瓦压力	$K$	kN	取至 1 位小数
列车管减压量	$r$	kPa	以整数计
牵引质量	$G$	t	取 10 的整数倍
区间运行时间	$t$	min	取至 2 位小数
电流	$I$	A	以整数计
电力机车区段耗电量	$Q$	kW·h	以整数计
单位耗电量	$q$	kW·h/(10 <sup>4</sup> t·km)	取至 1 位小数
内燃机车区段燃油消耗量	$E$	kg	以整数计
单位燃油消耗量	$e$	kg/(10 <sup>4</sup> t·km)	取至 1 位小数

# 第一章

## 电力机车牵引力与牵引特性

### 【本章重点】

- 电力机车牵引力的形成
- 机车黏着牵引力及黏着特性
- 机车牵引特性
- 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经传动装置传递,在轮周上形成切线力,再通过轮轨间的黏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,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-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,机车通过轮对将重量  $P_g$  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  $O$  为圆心旋转时,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  $F''$  推动动轮以点  $C$  为瞬时转动中心滚动,并将外力传给轴箱,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,其大小为

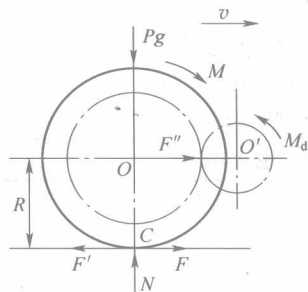


图 1-1 机车牵引力的形成

$$F = \frac{M}{R} \quad (1-1)$$

### 三、机车牵引力的分类

#### 1. 按机械功传递顺序分类

##### (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轮周上所得到的机车牵引力。它是一个假想的概念,可由测定柴油机气缸中的指示功通过计算而得到,只用在设计上。

##### (2) 轮周牵引力 $F$

钢轨对动轮的反作用力,  $F < F_i$ 。

##### (3) 车钩牵引力 $F_g$

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

$$F_g = F - W' \quad (1-2)$$

我国《牵规》规定, 机车牵引力以轮周牵引力为计算标准。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损状态计算。

#### 2. 按能量转变过程分类

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(传动), 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黏着转变为动轮轮周牵引力所做的机械功。因而电力机车牵引力要受到牵引电动机和轮轨间黏着这两个变能部分工作能力的限制, 它可分为:

##### (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) 黏着牵引力

受轮轨间黏着能力限制的轮周牵引力。

## 练习题

### 一、填空题

1. 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\_\_\_\_\_。
2. 《牵规》规定, 机车牵引力按轮箍\_\_\_\_\_状态计算。
3. 电力机车牵引力按能量转变过程分为\_\_\_\_\_和黏着牵引力。

### 二、选择题

1. 《牵规》规定, 机车牵引力以( )为计算标准。  
A. 指示牵引力      B. 车钩牵引力      C. 轮周牵引力

### 三、简答题

1. 电力机车牵引力是怎样形成的?
2. 简述机车牵引力的分类。

## 第二节 机车黏着牵引力

### 一、机车黏着力

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、黏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,动轮轴重  $P_{\mu}$  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  $N$ ,通过点  $C$  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  $F_1$ ,此力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黏着系数,摩擦力称为黏着力。

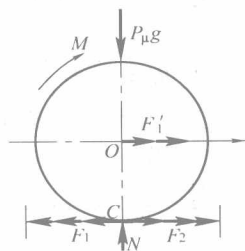


图 1-2 轮轨间的受力状况

### 二、黏着系数与计算黏着系数

黏着与静摩擦有着本质的不同:

(1)运动中机车动轮轴重存在转移现象,各动轮轴之间的牵引力分配不均。

(2)列车运行中不可避免地要产生各种冲击和振动,车轮在钢轨上滚动的同时还伴随着一定量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。分析轮轨间受力问题不用“静摩擦”这一概念,而以“黏着”来代替。

黏着系数  $\mu$  是一个由多个因素决定的变数。当车轮在钢轨上滚动时,  $\mu_{\max}$  变动很大而趋近于静摩擦系数。 $\mu_{\max}$  值与轮荷重、线路刚度、机车传动装置和走行部的结构、轮对和钢轨的材质及其表面状态、车速等因素有关。由经验公式求得的黏着系数称为计算黏着系数,用  $\mu_j$  表示。

《牵规》规定的国产电力机车计算黏着系数公式如下:

$$\mu_j = 0.24 + \frac{12}{100 + 8v} \quad (1-3)$$

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,因而使黏着系数降低,尤其在小半径曲线上更为明显。在这种情况下需要对计算黏着系数进行修正。电力机车(三轴转向架)在曲线半径小于 600 m 的线路上运行时,曲线上的计算黏着系数  $\mu_r$ ,按下式计算:

$$\mu_r = \mu_j (0.67 + 0.00055R) \quad (1-4)$$

按式(1-3)表达的计算黏着系数与速度的关系见表 1-1。

表 1-1 国产各型电力机车在不同运行速度下的计算黏着系数

速度/(km·h <sup>-1</sup> )	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

### 三、黏着牵引力

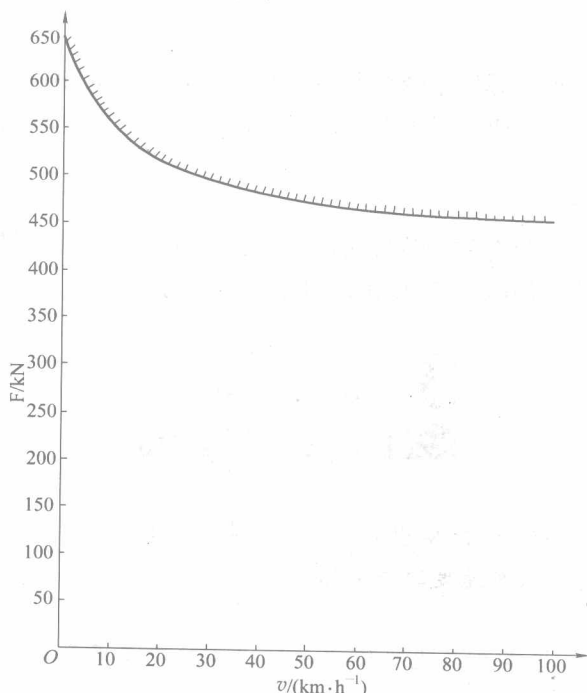
轮周上的切线力大于轮轨间的黏着力极限时,轮轨间的黏着被破坏,造成动轮空转。在不发生空转的条件下,所实现的最大轮周牵引力称为黏着牵引力,其值按下式计算:

$$F_{\mu} = P_{\mu} g \mu_j \quad (\text{kN}) \quad (1-5)$$

式中  $F_{\mu}$ ——黏着牵引力, kN;  
 $P_{\mu}$ ——机车计算黏着质量, t;  
 $\mu_j$ ——计算黏着系数;  
 $g$ ——重力加速度,  $g \approx 9.81 \text{ m/s}^2$ 。

### 四、黏着牵引特性

机车黏着牵引力与机车速度的关系称为黏着牵引特性。将表 1-1 中的计算黏着系数和机车计算黏着重量代入式(1-5),即可得出各型电力机车的黏着牵引力。根据不同速度下的黏着牵引力,可以在坐标纸上绘出黏着牵引力与速度的关系曲线,称为黏着牵引力曲线,图 1-3 是 SS<sub>4</sub> 和 SS<sub>4</sub> 改型电力机车的黏着牵引力曲线。

图 1-3 SS<sub>4</sub> 和 SS<sub>4</sub> 改型电力机车黏着牵引力曲线

机车黏着牵引力是机车牵引的一个限制值,对电力机车来说,如牵引电动机能力过大而超过黏着牵引力,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黏着牵引力限制得到的黏着牵引力;反之,如牵引电动机的牵引力小于黏着牵引力,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两种牵引力的小者。

### 五、提高黏着牵引力的方法和措施

近年来,随着电力牵引技术的发展,机车功率不断加大,以及牵引电动机制造水平的日益提高,黏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,黏着问题已成为限制牵引力、制动力发挥的关键问题。为此,在实际运用中根据机车动轮空转规律,采取以下预防措施,以提高黏着系数:

#### 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,轮轨黏着系数会降低 20%~30%;在油污的情况下能降低 50%。如良好的撒砂,可使黏着系数达到 0.225 左右。这就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。

(2)用机械方法来清洁钢轨。

#### 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;把多台电动机在机械上连接起来;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

现代新型电力机车上,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。

## 练习题

### 一、填空题

1. 在不发生空转的条件下,所实现的最大轮周牵引力称为\_\_\_\_\_。
2. 机车黏着牵引力与机车速度的关系称为\_\_\_\_\_。

### 二、判断题

1. 对电力机车来说,机车真正能实现的牵引力是按黏着牵引力限制值得到的黏着牵引力。 ( )
2. 撒砂可以提高黏着牵引力。 ( )

### 三、简答题

1. 国产电力机车的计算黏着系数计算公式是什么?
2. 黏着系数受哪些因素影响?

## 四、综合题

试计算\_\_\_\_\_型国产电力机车(机型自选) $v=0, 10, 20, 30, 40, \dots$ (km/h)的黏着牵引力 $F_\mu$ ,并在坐标纸上绘制成黏着牵引力曲线 $F_\mu=f(v)$ (横坐标:速度,1 mm代表1 km/h,取到该机车的最高速度;纵坐标:1 mm代表5 kN)。

## 第三节 电力机车牵引特性

## 一、牵引电动机牵引力

## 1. 牵引电动机电流特性

(1)采用恒压控制的电力机车,其电流 $I_d$ 与运行速度 $v$ 的关系可由以下方法导出。

牵引电动机电压平衡方程式为

$$\begin{aligned} U_d &= C_e \Phi n + I_d \sum R \\ I_d &= \frac{U_d - C_e \Phi n}{\sum R} \end{aligned} \quad (1-6)$$

式中  $I_d$ ——牵引电动机电流, A;

$U_d$ ——牵引电动机端电压, V;

$\sum R$ ——电枢总电阻,  $\Omega$ ;

$C_e$ ——电机结构常数;

$\Phi$ ——电机主磁通, Wb;

$n$ ——牵引电动机转速, r/min。

机车速度 $v$ 与牵引电动机转速 $n$ 成正比,即

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

式中  $\mu_c$ ——齿轮传动比;

$D$ ——机车动轮直径, mm。

令

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

得

$$I_d = \frac{U_d - C v \Phi}{\sum R} \quad (1-7)$$

式(1-7)说明,机车和电机的结构一定时,牵引电机电流是由其端电压和机车速度决定的。牵引电机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。这个变化可用图 1-4 表示。该图是采用调压控制方式的 SS<sub>3</sub> 型电力机车牵引电机电流与机车速度的关系  $I_d=f(v)$ 。

(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 $n$ 变



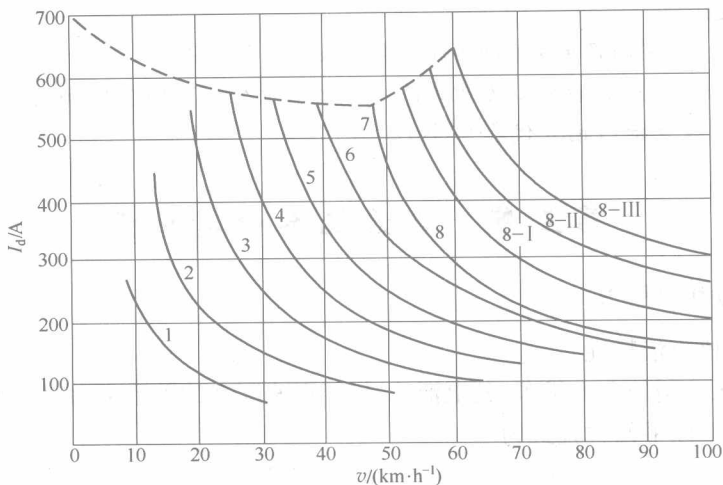


图 1-4 SS<sub>3</sub> 型电力机车牵引电机电流  $I_d$  与运行速度  $v$  的关系曲线

化,由微机实行特性控制。如 SS<sub>4</sub> 改型电力机车特性控制函数为

$$I_d = \min \begin{cases} 150n \\ 600n - 54v \\ 1096 \end{cases} \quad (\text{A}) \quad (1-8)$$

式中  $n$ ——司机控制器牵引调速手轮的级位,  $n=1, 2, 3, \dots, 9, 10$  级;

1096——牵引电机平均起动电流限制。

式(1-8)表示的牵引电机电流与机车速度的关系  $I_d = f(v)$  可用图 1-5 表示。

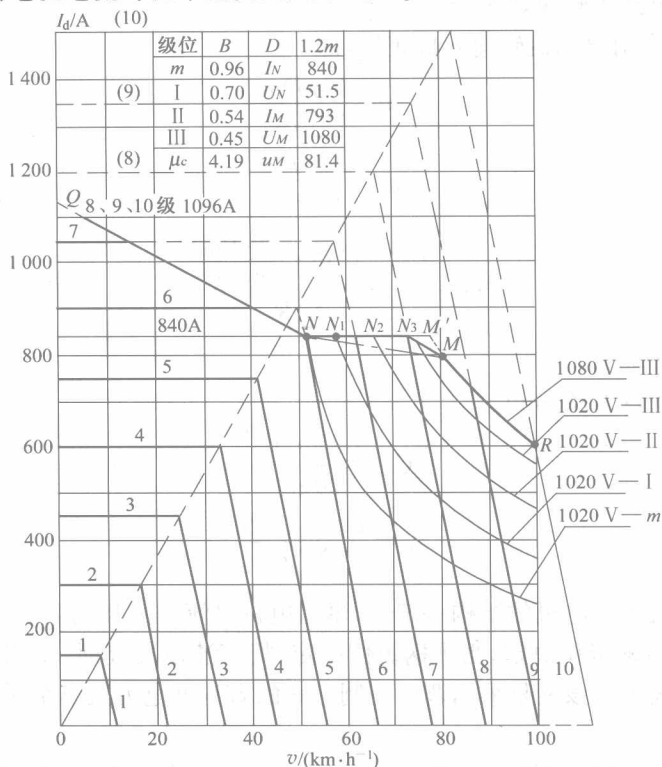


图 1-5 SS<sub>4</sub> 改型电力机车牵引电机电流  $I_d$  与运行速度  $v$  的关系曲线