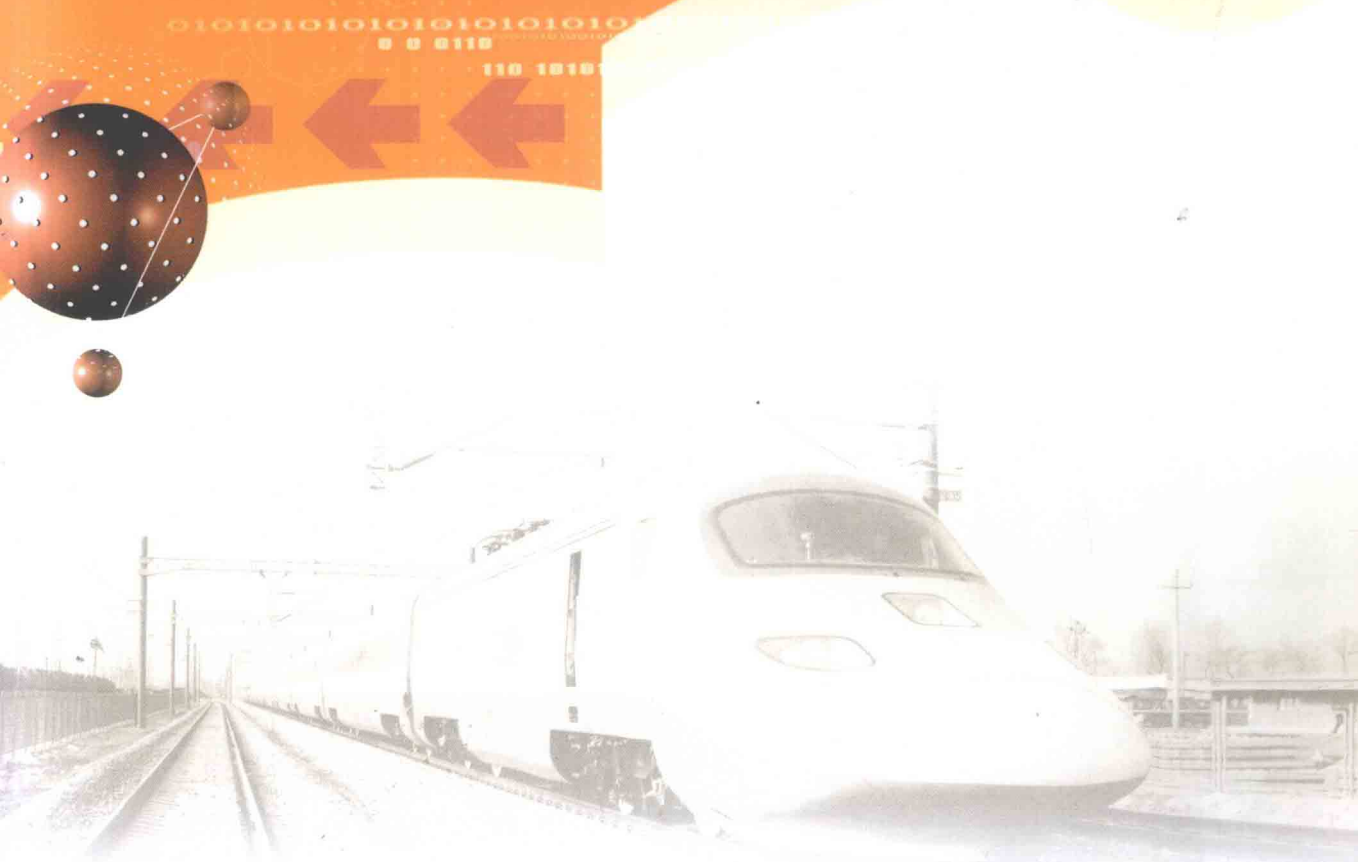


第二版

列车牵引计算 实用教程

孙中央 著



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

列车牵引计算实用教程

(第二版)

孙中央 著

中国铁道出版社

2005年·北京

内 容 简 介

本书系统地阐述了电力机车、内燃机车和动车组的牵引与制动特性，列车阻力与列车制动力的计算，列车运动方程式及其应用，列车牵引重量、运行速度和时间、机车能耗的计算，列车制动问题的解算以及列车监控装置制动模式曲线设计，介绍了列车牵引电算和列车运营试验，论述了列车牵引与制动的若干应用问题。本书理论联系实际，内容精炼、实用，对有关人员运用列车牵引计算知识解决铁路设计和运营中的实际问题有指导作用，并有一定的学术价值。

本书可作为中专、技校、司机学校和机车运用、安全管理干部、机车司机培训教材，也可供从事铁路选线设计、信号设计、监控装置软件设计、机务管理、运输管理的科技人员和大、中专院校师生学习参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

列车牵引计算实用教程 (第二版) / 孙中央著. —北京: 中国铁道出版社, 2005. 2
ISBN 7-113-06379-9

I. 列… II. 孙… III. 列车—牵引—计算—教材 IV. U260.13

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 013252 号

书 名: 列车牵引计算实用教程 (第二版)

作 者: 孙中央

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)

特邀编辑: 黄问盈

责任编辑: 聂清立

封面设计: 马 利

印 刷: 北京市彩桥印刷厂

开 本: 787mm × 1 092mm 1/16 印张: 14.5 字数: 351 千

版 本: 1999 年 11 月第 1 版 2005 年 2 月第 2 版 2005 年 2 月第 3 次印刷

印 数: 12001 ~ 17000 册

书 号: ISBN 7-113-06379-9/U · 1770

定 价: 30.00 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。

编辑部电话: (010) 51873138 发行部电话: (010) 51873124

前 言

为了普及列车牵引计算知识，便于有关技术人员和现场职工运用这些知识解决铁路设计和运营中的技术问题，1999年出版了《列车牵引计算规程实用教程》一书，该书出版以来，颇受广大读者欢迎。

几年来，随着铁路大面积提速，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资料。为进一步满足读者需要，现重新改写出版。

本书贯彻了《列车牵引计算规程》（以下简称《牵规》）的精神，但不是《牵规》解释。为了避免读者误认为本书是《牵规》解说，书名改为《列车牵引计算实用教程》，并在原书的基础上作了大量的修改，部分内容重新改写，补充了1998年《牵规》颁布以后的新资料，同时也精简了少数过时的内容。内容变动较大的是：

第一章：增加了《牵规》中没有列入的若干电力机车、内燃机车的“预期特性”曲线；“电力机车牵引特性”和“内燃机车牵引特性”两节作了较详细的分析；对原书中的“机车牵引计算主要数据表”，只列入轮周牵引力部分，将能耗量数据、机车单位基本阻力及电力机车动力制动力移入有关章节；增写了“机车功率特性”和“动车组性能简介”两节。

第二章：考虑到滑动轴承货车已经淘汰，在“基本阻力”一节中删去了有关内容；增写了“加算坡道阻力、加算坡度千分数及其计算中对列车长度的考虑”一节；“线路纵断面化简”一节作了补充，扩大了例题范围。

第三章：“用换算法计算列车制动力”一节作了改写，分为三节，并增加了一些新内容；删去了来自《牵规》的机车车辆换算闸瓦压力表，因为《牵规》上的机车车辆换算闸瓦压力表不够完善，后来颁布的《铁路技术管理规程》（以下简称《技规》）对同样的内容作了补充和更新，应用时以《技规》为准；增加了新型机车和动车组动力制动力的资料。

第四章整章作了改写。

第五章部分内容作了改写。

原第六章“牵引重量的计算”与第七章“机车能耗量的计算”前后次序作了调；“机车能耗量的计算”一章增加有关能耗计算的数据表，删去了内燃机车燃油消耗量曲线图；“牵引重量的计算”一章内几个牵引重量表中增加了一些机型；“牵引重量的校验”一节中关于列车长度受车站到发线有效长限制的内容作了改写。

第八章部分内容作了修改和补充，删去该章第八节“机车监控装置制动模式曲线设计”，新写了第八节“列车常用制动限速”。

总结十几年来对制动模式曲线设计的理论思考和实践经验，增写了第九章“列车监控装置制动模式曲线设计”。

原最后一章改为第十二章，增加了两节，分别是“列车空气制动力计算参数的成套性”和“关于货物列车主管定压问题”，原有几节的部分内容作了修改。

此外，机车车辆换算闸瓦压力表、列车紧急制动距离限值和列车紧急制动限速表等内容系参照即将出版的第10版《技规》（征求意见稿）改写。第10版《技规》出版后，请读者注意对照。

为方便读者阅读理解和巩固，每章前面有“本章导读”，除第六章和第十章外，每章后面有“巩固与练习”。

本书力求精炼、实用，以便读者能用较短的时间学会列车牵引计算的基本理论和应用技能。这从四个方面表现出来：一是对诸如牵引力、阻力、制动力的理论分析不作过多的详细叙述，因为在一般牵引计算中，它们并不是根据理论公式计算的，而是采用通过专门试验得到的试验公式或者试验数据，略去这些部分并不影响读者对知识的使用；二是加强了实际应用方面的内容，这不但对提高运输能力、保证行车安全、改善机车操纵技术有参考价值，而且可以引导读者开阔视野，灵活地运用所学知识，更多、更好地解决实际问题；三是对部分常用的计算公式给出了精度足够的简化计算方法；四是尽可能给出较多的数据表，向读者提供更多的数据资源。

本书与其他同类书籍相比，列车制动计算部分占的比重更大。

随着计算机技术的发展，牵引计算中原来靠手工完成的大量工作将由计算机代替。手算是牵引计算的基本功，本书仍然保留，但作了必要的精简。在有关章节结合了电算，单列了牵引电算一章，但对电算只作概略介绍。使用具体电算软件时，可参阅其《使用手册》。

为了照顾基层读者的阅读习惯，对《牵规》中“机车质量”、“牵引质量”等仍分别称为“机车重量”、“牵引重量”等。

本书内容比较丰富，读者可以根据自己需要有选择地阅读，作为培训教材时，可根据不同教学对象有选择地讲授。

本书得以面世，受惠于许多领导的支持和同志的帮助，铁道科学研究院车辆所黄问盈、马大炜、吴培元、陶强等专家提供了重要资料和热情帮助。为本书提供资料和帮助的还有：广铁（集团）公司吴年余，上海铁路局奚国森，哈尔滨铁路局胡增臣，兰州铁路局陈华锋，南昌铁路局吴志文，郑州铁路局岳建国、程胜利、张孝东、楚伟炎、石现波、赵德然、邓亚伟、陈士全、崔小喜、崔志远、王贻有、张中央、程长明、李伟、宁继英，河南思维公司高亚举、李晓群以及郑州、郑州北、宝鸡机务段技术科。郑州铁路局汪志章、王长明同志校阅了书稿。在此一并致以诚挚的感谢。

书中缺点、不当之处，欢迎批评、指正。

作者

2005年1月1日

目 录

绪 论	1
第一章 机车牵引特性	3
第一节 概 述	3
第二节 机车粘着牵引力	4
第三节 电力机车牵引特性	5
第四节 内燃机车牵引特性	16
第五节 机车牵引力的计算标准和取值规定	23
第六节 机车功率特性	32
第七节 动车组性能简介	36
第二章 列车阻力	43
第一节 概 述	43
第二节 基本阻力	43
第三节 附加阻力	48
第四节 加算坡道阻力、加算坡度千分数及其计算中对列车长度的考虑	51
第五节 线路纵断面化简	54
第六节 列车阻力计算	58
第三章 列车制动力	63
第一节 概 述	63
第二节 闸瓦摩擦系数	64
第三节 闸瓦压力	65
第四节 用实算法计算列车制动力	67
第五节 换算摩擦系数	67
第六节 换算闸瓦压力	71
第七节 用换算法计算列车制动力	75
第八节 列车换算制动率的取值	77
第九节 机车动力制动力	79
第四章 列车运动方程式及其应用	98
第一节 作用在列车上的合力	98
第二节 合力图	99
第三节 列车运动方程式——列车加速度与单位合力的关系	103
第四节 列车运动方程式的应用——运行时间、距离与速度、 单位合力的关系	104

第五章 列车运行速度和时间的计算	108
第一节 概 述.....	108
第二节 计算列车运行速度和时间的分析法.....	108
第三节 计算列车运行速度和时间图解法的原理.....	109
第四节 用图解法计算列车运行速度和时间之例.....	112
第五节 绘制速度线、时间线的注意事项.....	117
第六节 区间运行时分标准的确定.....	118
第六章 机车能耗量的计算	121
第一节 电力机车耗电量的计算.....	121
第二节 内燃机车燃油消耗量的计算.....	126
第七章 牵引重量的计算	131
第一节 概 述.....	131
第二节 计算坡道上牵引重量的计算.....	131
第三节 列车在平直道上以最高速度运行仍有加速度时牵引重量的计算.....	134
第四节 动能坡道上牵引重量的计算.....	135
第五节 牵引重量的校验.....	137
第六节 牵引定数的确定.....	142
第八章 列车制动问题的解算	145
第一节 概 述.....	145
第二节 空走时间和空走距离.....	146
第三节 有效制动距离的计算.....	148
第四节 列车制动距离计算之例.....	149
第五节 有效制动距离计算方法的简化.....	156
第六节 列车换算制动率的计算.....	159
第七节 列车紧急制动限速.....	160
第八节 列车常用制动限速.....	167
第九章 列车监控装置制动模式曲线设计	176
第一节 概 述.....	176
第二节 制动模式曲线计算参数选择.....	178
第三节 三显示自动闭塞区段的速度监控模式.....	179
第四节 四显示自动闭塞区段的速度监控模式.....	182
第五节 本章小结.....	185
第十章 列车牵引电算	187
第一节 概 述.....	187
第二节 数据文件.....	187
第三节 计算数学模型及屏幕显示.....	188
第四节 电算结果输出.....	189
第十一章 运营列车试验	190
第一节 概 述.....	190
第二节 区间运行时分试验.....	191

第三节	牵引重量试验·····	191
第四节	机车牵引力、动力制动力试验·····	192
第五节	制动试验·····	194
第十二章	列车牵引与制动的若干应用问题·····	197
第一节	列车空气制动力计算参数的成套性·····	197
第二节	关于货物列车主管定压问题·····	199
第三节	减少列车冲动和防止断钩的操纵要点·····	201
第四节	列车制动机缓解和充风时间——“充满风再动车”的说法对吗·····	206
第五节	制动机充风不足对列车制动力的影响——制动机未充满风会 “制动失效”吗·····	207
第六节	制动缸活塞行程超长对制动力的影响·····	210
第七节	关于列车紧急制动作用问题·····	212
第八节	货物列车在高坡地段长时间停留时的溜逸与防溜问题·····	213
第九节	关于因制动发生的列车事故的分析·····	215
附 录	·····	218
主要参考文献	·····	219

绪 论

● 列车牵引计算的研究内容与用途

列车牵引计算是一门铁路应用科学。它的研究内容包括：

1. 作用在列车上的外力,包括:

- (1) 机车(或动车、列车)牵引力;
- (2) 列车阻力;
- (3) 列车制动力。

2. 列车运动和力的关系——列车运动方程式。

3. 研究与列车运动有关的一系列实际问题的解算方法,他们是:

- (1) 列车运行速度和时间的计算;
- (2) 机车能耗量的计算;
- (3) 牵引重量的计算;
- (4) 列车制动问题的解算;
- (5) 列车牵引试验、阻力试验与制动参数的试验,列车合理操纵的有关理论问题等。

上述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。在路网规划、选线设计、行车设备及信号布置、机车设计和选型、确定列车牵引定数、运行速度和时间、计算机车能耗、研究合理操纵、计算制动距离、确定制动限速、实施列车监控、制定安全规章和事故分析等方面都离不开列车牵引计算的知识。

● 列车牵引计算的特点

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通过大量试验得出的试验数据(以试验公式或图表的形式表示)。没有大量的试验作为基础,就没有牵引计算学的发展。应用列车牵引计算的基本理论指导实践并及时总结实践经验又促进了牵引计算学的发展。

● 《列车牵引计算规程》

《列车牵引计算规程》是铁路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相关的数据资料,是铁路各部门进行牵引计算的依据。

我国已颁布了三版牵引计算规程。1957年我国还没有电力、内燃机车,根据大量试验结果,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、内燃机车有了相当的发展,根据新的试验研究成果,1982年颁布了《列车牵引计算规程》(TB 1407—1982),从这一版起作为铁道部行业标准颁布实施。20世纪90年代,我国铁路动力改革步伐加快,电力、内燃牵引有了更大发展,客货车辆及其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和实践经验,1998年颁布了第三版《列车牵引计算规程》(TB/T 1407—1998),对我国铁路设计、科研和运营工作起到了重要的指导作用。

随着我国铁路装备的快速发展,《牵规》也要根据新的试验研究成果和运用经验不断

补充、完善。第三版《牵规》颁布以来,我国已研制成功多种机车车辆和动车组,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,这就要求及早编制颁布新版《牵规》或其补充件,以满足铁路跨越式发展的需要。

第一章 机车牵引特性

本章导读

本章讲述机车牵引力的几个基本概念，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，介绍机车功率特性和动车组性能。学习本章要着重理解机车牵引力的限制关系，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

机车牵引力是由动力传动装置产生的、与列车运行方向相同、导致列车运行并可由司机根据需要调节的外力。

动力装置产生的机械能（热力牵引）或直接由接触网获得的电能（电力牵引），通过传动装置产生使动轮回转的扭矩，在动轮轮周上形成切线力，依靠轮轨间的粘着产生由钢轨作用于动轮周上的反作用力，从而使列车发生平移运动。这种由钢轨作用于动轮周上的切向外力，即为机车牵引力。

对于动车组、城市轨道列车和地铁列车而言，动力集中配置（拖车不带动力转向架）的，可称为动车牵引力，动力分散配置（拖车带动力转向架）的，称为列车牵引力更为合适。

二、机车牵引力的几个概念

1. 按能量传递顺序，机车牵引力可分为：

(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的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. 按能量转换过程的限制关系, 机车牵引力的分类:

(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) 热力机车

① 原动机牵引力: 受原动机功率限制的轮周牵引力, 内燃机车牵引时, 即为柴油机牵引力。

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

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

式中 F_{μ} —— 计算粘着牵引力, kN;

P_{μ} —— 机车计算粘着重量, 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并小于理论粘着系数 (轮轨间的最大静摩擦系数), 它包含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。

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。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。采用防空转装置可以提高粘着系数的利用程度。

中国《牵规》规定的计算粘着系数公式如下:

1. 电力机车

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

式中 v —— 运行速度, km/h。

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

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

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 (1—3)、(1—4)、(1—5)、(1—7) 和 (1—8) 式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

机车速度 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 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。

中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重量代入 (1—2) 式,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。

第三节 电力机车牵引特性

一、电力机车牵引电机牵引力

1. 牵引电机的电流特性

牵引电机的电流特性,是指在一定的电压下牵引电机电流 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机电压平衡方程式和机车速度与牵引电机转速的关系导出。牵引电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 ——牵引电机端电压, V;

C_e ——牵引电机电势常数;

n ——牵引电机转速, r/min;

Φ ——牵引电机主磁通, Wb;

I_d ——牵引电机电流, A;

R_d ——牵引电机电枢绕组电阻, Ω 。

(1-10) 式中 $C_e n \Phi$ 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

$$n = \frac{1000 \mu_c v}{60 \pi D} \quad (1-12)$$

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 (1-12) 式代入 (1-11) 式得

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

令

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

式中 C 称为机车常数。由此可推出

$$I_d = \frac{U_d - C v \Phi}{R_d} \quad (1-13)$$

(1-13) 式说明, 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 1-1 表示。该图是采用调压控制方式的 SS₃ 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 和手柄级位数 n 变化, 由微机实行特性函数控制。如 SS_{3B} 型电力机车特性控制函数为

$$I_d = \left. \begin{array}{l} 90n \\ 45(10n - v) \\ 700 \end{array} \right\} \begin{array}{l} \textcircled{1} \\ \textcircled{2} \\ \textcircled{3} \end{array} \text{取最小值} \quad (1-14)$$

(1-14) 式表示的牵引电机电流与机车速度的关系 $I_d = f(v)$ 用图 1-2 表示。

在国内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

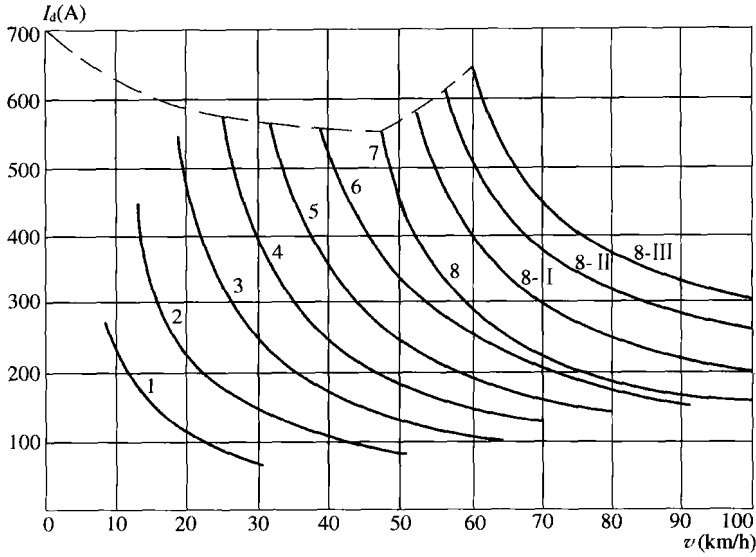


图 1—1 SS₃ 型电力机车牵引电机电流 I_d 与运行速度 v 的关系曲线

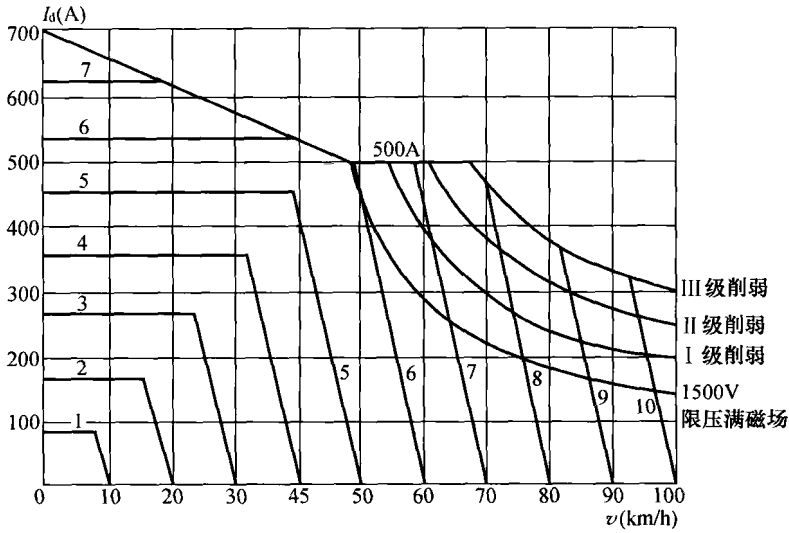


图 1—2 SS_{3B} 型电力机车牵引电机电流 I_d 与运行速度 v 的关系曲线

性”，把表达牵引电机电流 I_d 与运行速度 v 的关系的 (1—13) 式写成

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

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—1 及图 1—2) 上, 用横坐标代表电流 I_d , 用纵坐标代表速度 v 。这样的表述方法未免本末倒置。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是否大于运行阻力。在电流和速度的关系中, 速度是决定的因素, 电流是被动的因素。在用公式表达两个函数的依赖关系时, 起决定作用的函数应当写在等号的右侧, 在用直角坐标表达这种关系时, 起决定作用的函数应当作为横坐标。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、电流为纵坐标才对。

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

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

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）。

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

式中 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

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

由此得
$$F = \frac{2}{1000D} m M \eta_d \eta_c = \frac{2}{D} m C_m \Phi I_d \eta_d \eta_c \times 10^{-3} (\text{kN}) \quad (1-15)$$

式中 D ——动轮直径，m；

m ——牵引电机个数；

η_d ——牵引电机效率；

η_c ——齿轮传动效率。

由 (1-15) 式可见，机车牵引力 F 和牵引电机电流 I_d 以及磁通量 Φ 成正比。采用调压控制方式的 SS_3 型电力机车的牵引力 F 与牵引电机电流 I_d 的关系 $F = f(I_d)$ 见图 1-3。采用恒流准恒速控制方式的 SS_{3B} 型电力机车的牵引力 F 与牵引电机电流 I_d 的关系 $F = f(I_d)$ 见图 1-4。

3. 机车牵引特性

机车牵引特性是指机车轮周牵引力 F 与运行速度 v 之间的关系 $F = f(v)$ 。由于牵引力与牵引电机电流成正比，所以机车牵引力 F 与运行速度 v 之间的关系线 $F = f(v)$ 的形状和牵引电机电流 I_d 与运行速度 v 的关系线 $I_d = f(v)$ 的形状极为相似。采用调压控制方式的 SS_3 型电力机车的牵引力 F 与运行速度 v 之间的关系 $F = f(v)$ 见图 1-5。采用恒流准恒速控制方式的 SS_{3B} 型电力机车的牵引力 F 与运行速度 v 之间的关系 $F = f(v)$ 见图 1-6。

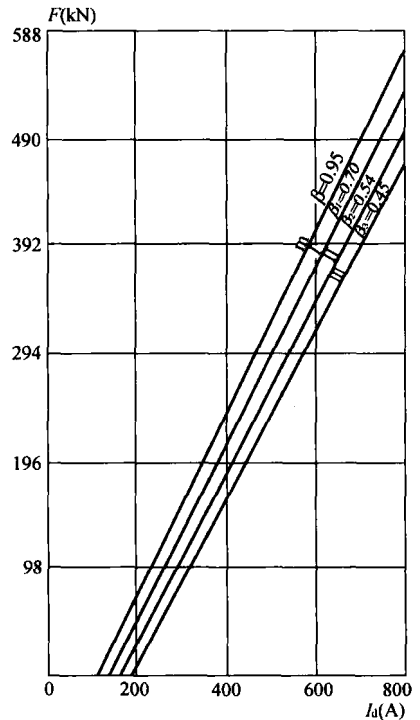


图 1-3 SS_3 型电力机车牵引力 F 与牵引电机电流 I_d 的关系

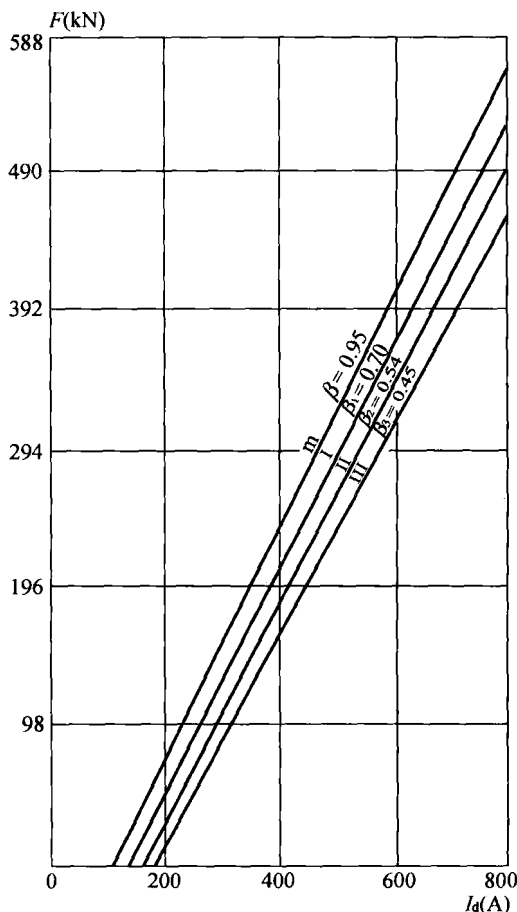


图 1—4 SS_{3B}型电力机车牵引力 F 与牵引电机电流 I_d 的关系

二、电力机车牵引特性曲线

电力机车牵引电机牵引力由专门试验得出。未经试验的新造机车，可参考由生产厂家提供的通过理论计算得出的“预期特性”曲线。“预期特性”曲线一般和试验曲线相当接近。图 1—5 和图 1—6 就是“预期特性”曲线。

将牵引电机牵引力和粘着牵引力与速度的关系绘在一张图上，构成电力机车牵引特性曲线。

图 1—7 ~ 图 1—13 分别是 SS₁ 型、SS₃ 型、SS₄ 型、SS₇ 型、SS₈ 型、6K 型、8G 型电力机车牵引特性曲线（这些特性曲线是通过型式试验得到的，并由《牵规》公布）。图 1—14 ~ 图 1—22 是《牵规》以外的若干型电力机车牵引特性曲线（有的图上只有牵引力的“外包线”，未标明“预期特性”的是试验曲线）。

牵引特性曲线图中带阴影的是粘着牵引力曲线，另有若干条标明级位的是牵引电机牵引力曲线。在采用有级磁场削弱的 SS₁ 型、SS₃ 型、SS₄ 型电力机车牵引特性曲线图上，满级位的牵引力曲线右上方有三条（I 级、II 级、III 级）磁场削弱工况下的牵引力曲线。采用无级磁场削弱的机型，其牵引特性曲线图上最外方的曲线是最深磁场削弱工况。连接最高级