

●  
高等学校教材

# 列车牵引计算

(第二版)

北方交通大学 饶忠 主编

中国铁道出版社

高等学校教材

# 列车牵引计算

(第二版)

北方交通大学 饶忠 主编  
铁道部科学研究院 黄问盈 主审

中国铁道出版社

1999年·北京

# (京)新登字 063 号

## 内 容 简 介

本书根据最新颁布实施的 1998 年《列车牵引计算规程》，在原高校教材《列车牵引计算》基础上修改而成。

本书简明地阐述了“列车牵引”的基础理论及其计算方法。主要内容包括：机车牵引力、列车运行阻力和制动力的产生及其在运用中的变化规律，机车牵引力的计算标准，列车运行阻力和制动力计算，列车运行时分和列车制动问题的解算，牵引重量的计算和验算及牵引定数的制定，机车能耗的计算，以及如何使用电子计算机进行上述计算等。

本书可作为铁路高等院校运输、运输经济、机车等专业的教材，亦可供线路、信号等其他专业和有关部门的人员学习、参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

列车牵引计算/饶忠主编. —2 版. —北京:中国铁道出版社,1999. 9  
ISBN 7-113-03483-7

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 40003 号

书 名:列车牵引计算(第二版)

作 者:北方交通大学 饶 忠

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:金 锋

封面设计:陈东山

印 刷:中国铁道出版社印刷厂

开 本:787×1092 1/16 印张:7.75 字数:195 千

版 本:1996 年 3 月第 1 版 1999 年 11 月第 2 版第 3 次印刷

印 数:8 000—11 000册

书 号:ISBN 7-113-03483-7/U·954

定 价:10.50 元

版权所有 盗印必究

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。

## 第二版 前 言

近年来,我国铁路客运提速和货运重载进展迅速,相应的技术装备不断更新,新型内燃、电力机车和新型客、货车辆以及新的制动方式、新型制动机和各种材质闸瓦(片)大量投入使用,铁路牵引动力和客、货车辆(含制动机)在量和质的方面均有重大变化和提。主要干线已陆续正式开行最高速度 140km/h 和 160km/h 的快速旅客列车和 4 000~5 000t 的货物列车,高速铁路即将兴建,新型动车组正在研制,有些样车已在试验运用,标志着我国铁路正加快步伐,逐步与国际铁路高速化大趋势“接轨”。

为适应上述变化,经过不断研究、试验和完善,新的《列车牵引计算规程》(简称新《牵规》)于 1999 年 4 月 1 日正式实施。为配合新《牵规》的推广和应用,北方交通大学饶忠对本书进行了全面修订,保持了原有框架和章节,对数据、曲线、计算公式或其系数以及相关例题作了必要的删节、修改、补充和重算,有些名词、概念也进行了相应的调整和修改,此外还增补了新的计算方法和公式。

铁道部科学研究院黄问盈再次对本书进行了全面审定。

书中不妥及疏漏之处,欢迎读者指正。

编 者

1999 年 5 月

# 第一版 前 言

提高列车牵引重量和运行速度,保证铁路行车安全和尽量节约机车能耗,是扩大铁路运输能力、提高铁路工作效益的重要内容。为此,必须讲究科学管理和经济操纵,提高运输管理和列车操纵水平;很好地研究列车的牵引重量、运行速度、制动距离以及机车能耗等与哪些因素有关,怎样在保证行车安全和节能的条件下“多拉快跑”;同时,要让铁路运输管理工作人员及其后备军都具有这方面的知识,既会分析,也会计算。

《列车牵引计算》正是讲述这些理论知识和计算方法的。它主要包括机车牵引力、列车运行阻力和制动力的产生及其在运用中的变化规律,各种机车的牵引力计算标准,列车运行阻力和制动力计算,列车运行时分和列车制动问题的解算,牵引重量的计算和验算以及牵引定数的制定,机车能耗(蒸汽机车煤耗、内燃机车燃油消耗和电力机车电耗)的计算,以及如何用电子计算机进行上述计算等内容。

在编写过程中,我们除了依据铁路高等学校铁道运输专业“列车牵引计算”课程教学大纲的具体要求进行编写之外,还在制动限速、空走时间、作用于列车上的力、轮轨摩擦与粘着的关系,以及牵引电算等论述中,写进了我们多年的教学和科研成果。同时,考虑到读者自学的需要,在每章正文之后列出了复习思考题及课外作业题,并适当增加了一些必要的具体数据,使读者有更多的“量的概念”。因此,本书除了供铁路高等院校运输、运输经济、机车等专业教学使用外,亦可供其他专业和有关部门(如铁路选线设计、铁路通信信号等)的技术人员学习、参考。

本书由北方交通大学饶忠、谢让皋、戴明森及许惊等集体编写。饶忠主编并编写了绪论、第五章、第八章和每章的复习思考题及作业题,谢让皋编写了第一章和第六章,戴明森编写了第三章和第四章,许惊编写了第二章和第七章,铁道部科学研究院黄问盈主审。

初稿完成后,在北方交通大学试用了三年,并函寄有关兄弟院校征求意见。在此基础上,1994年5月由铁道部科学研究院黄问盈主持召开了审稿会。会后,我们又根据审稿会的意见及兄弟院校的函审意见,对初稿作了进一步地修改和补充。

编 者

1995年4月

# 目 录

绪 论	1
复习思考题	3
第一章 机车牵引力	4
第一节 车钩牵引力与轮周牵引力	4
第二节 轮轨间的摩擦与粘着	5
第三节 粘着牵引力	6
第四节 内燃机车的牵引特性及其计算标准	7
第五节 电力机车的牵引特性及其计算标准	11
第六节 蒸汽机车的牵引特性及其计算标准	12
复习思考题	18
课外作业题	19
第二章 列车运行阻力	20
第一节 基本阻力	20
第二节 附加阻力	25
第三节 列车运行阻力计算	27
复习思考题	28
课外作业题	28
第三章 列车制动力	29
第一节 制动力的产生及其限制	29
第二节 闸瓦摩擦系数的影响因素	30
第三节 闸瓦压力的计算	33
第四节 列车制动力的计算	35
第五节 动力制动	45
复习思考题	47
课外作业题	48
第四章 合力曲线、运动方程及时分解算	49
第一节 合力曲线图的绘制及应用	49
第二节 列车运动方程及其应用	53
第三节 列车运行时分的计算(分析法)	56
第四节 列车速度时分曲线的绘制(图解法)	60

第五节 解算列车运行时分的均衡速度法 .....	65
第六节 线路纵断面化简 .....	67
复习思考题 .....	70
课外作业题 .....	70
<b>第五章 列车制动问题解算 .....</b>	<b>71</b>
第一节 制动距离及其计算 .....	71
第二节 紧急制动限速和列车换算制动率的解算 .....	77
复习思考题 .....	87
课外作业题 .....	87
<b>第六章 牵引重量 .....</b>	<b>88</b>
第一节 牵引重量的计算 .....	88
第二节 牵引重量的验算 .....	91
第三节 牵引定数的确定 .....	93
复习思考题 .....	96
课外作业题 .....	96
<b>第七章 机车燃油、燃煤及电能消耗量的计算 .....</b>	<b>97</b>
第一节 内燃机车燃油消耗量的计算 .....	97
第二节 蒸汽机车煤、水消耗量的计算 .....	98
第三节 电力机车电能消耗量的计算 .....	100
复习思考题 .....	101
课外作业题 .....	101
<b>第八章 列车牵引电算 .....</b>	<b>102</b>
第一节 牵引电算各软件的用途及相互关系 .....	102
第二节 原始数据的输入和调整 .....	104
第三节 用户选择工况的运行时分电算 .....	107
第四节 计算机选工况的时分电算 .....	108
第五节 计算机绘制速度时分曲线 .....	114
复习思考题 .....	116
课外作业题 .....	116
附表 列车牵引计算中的主要物理量 .....	117
参考文献 .....	117

# 绪 论

## 一、“列车牵引计算”学科的性质和内容

“列车牵引计算”(以前曾称“机车运转理论”或“牵引计算学”)是专门研究铁路列车在外力的作用下沿轨道运行及其有关问题的实用学科。它以力学为基础,以科学实验和先进操纵经验为依据,分析列车运行过程中的各种现象和原理,并用以解算铁路运营和设计上的一些主要技术问题和经济问题。例如,机车牵引重量、列车运行速度和运行时间、列车制动距离、制动限速、制动能力以及机车能耗(煤耗、燃油耗或电耗)等等。

## 二、“列车牵引计算”的用途

### 1. 铁路运输方面

为了使铁路运输做到提速、重载、安全、高效,在每年修改列车运行图时都需要进行大量的牵引计算。

### 2. 机车运用方面

除了配合运输方面做好上述工作之外,为了做到“节能”,还可通过牵引计算,寻找最佳操纵方案。

### 3. 选线设计方面

为了计算铁路的通过能力和输送能力、布置车站和机务段(或者说,确定线路纵断面和机车交路),在进行选线设计时必须要进行牵引计算。

### 4. 通信信号方面

为了合理地布置铁路的行车信号机,也要进行牵引计算。

### 5. 运输经济方面

为了计算设备投资和运营支出,进行各种方案的经济比较等等,也要进行牵引计算。

## 三、《列车牵引计算规程》的意义和发展

由于“列车牵引计算”与铁路很多部门有着如此密切的关系,为了使各部门在进行列车牵引计算时有一个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》(简称《牵规》),其中规定了牵引计算方法及所用的主要技术数据的标准,是确定牵引重量和运行时间的依据,计算机车用电、油、煤、水等消耗量的基础。为了避免新建铁路和营业铁路在衔接地点造成浪费,不论是营业铁路、新建铁路还是旧线改造,凡是1 435 mm标准轨距的列车牵引计算,都必须遵照该规程来进行。

影响列车运行的因素很多,也很复杂。要想一一考虑并用理论推导的方法来计算它们是很困难的。因此,只能依据牵引计算的理论,结合大量的试验,整理出一些既简单实用,又符合实际情况的曲线、公式或图表,作为一定时期内的牵引计算标准。《牵规》就是这样制定出来的。但是,铁路情况和机车车辆的运用条件不是一成不变的。随着科学技术的发展,装备会得到更新,



管理和操纵的水平会不断提高,这就需要用新的装备、新的测试方法在新的试验条件下进行新的试验,或者采用新的计算方法,即,又可以得出新的计算标准。所以,为了适应不断发展变化的铁路情况和机车车辆运用条件,《牵规》也要不定期地进行修订和改进。中华人民共和国建国之初的第一个《牵规》是1957年12月14日颁布、1958年5月1日开始实行的《蒸汽机车牵引计算规程》。第二个《牵规》是1982年7月12日颁布、1983年1月1日开始实行的。从1958年到1982年的25年间,中国铁路由单一的蒸汽牵引发展成为内燃、电力和蒸汽牵引并存,而且内、电运输量逐步超过了蒸汽牵引的运输量。所以,第二个《牵规》包括蒸汽、内燃和电力三种牵引方面的内容,比第一个《牵规》有了长足的发展和改进。从1983年以后,中国的法定计量制度由采用工程单位制(米制)改变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;滚动轴承在货车中的比例迅速上升,已经占了绝大多数;列车的牵引重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。所以,铁道部又在1998年10月15日批准和发布了第三个《牵规》(TB/T 1407—1998,简称新《牵规》),并决定从1999年4月1日开始实行。与第二个《牵规》相比,它修改、补充和增加的内容是: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、电机车的单位基本阻力公式;修订了内、电机车粘着系数和小半径曲线粘着系数的计算公式;修订和增加了内燃机车牵引力修正系数;修订和增加牵引质量(牵引重量)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;增加了高磷铸铁闸瓦、低摩合成闸瓦、高摩合成闸瓦和客车盘形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机车单机空走时间的计算公式;增加了列车牵引电算法的条文,明确地规定“以电算为主”。

#### 四、牵引计算符号的制定原则

在列车牵引计算中,为了便于表达各物理量之间的数学关系,并便于书写、印刷和校对,规定以一定的符号代表一定的物理量。它是根据《有关量、单位和符号的一般原则》(GB3101—93)规定的精神,按下列基本原则制定的:

(1)选用符号尽量符合国家标准和国际标准,并适当照顾过去的使用习惯。

(2)量的符号通常是单个拉丁字母或希腊字母,有时带有下标或其他说明性标记,量的符号必须用斜体印刷。

(3)下标尽量采用国际通用的,没有国际通用的则选用汉语拼音字母。下标的字体比基本符号略小,但基准线比基本符号稍低。表示物理量符号的下标用斜体,其他下标用正体印刷。

列车牵引计算中各主要物理量的名称、符号、单位及取值规定,可参看书末附表,在以后各章节中也将陆续介绍。

#### 五、对列车运行有直接影响的力

列车牵引计算的中心环节是推导列车运动方程,即研究列车运行中其加(减)速度与列车加(减)速度的相互关系,从而找出列车运行速度、运行距离、运行时间及牵引重量之间的相互关系。为此,首先要研究列车运行中发生的对列车运行有直接影响的各种外力:

##### 1. 机车牵引力 $F$

由动力传动装置引起的与列车运行方向相同的外力。这是司机可以控制的使列车发生运动或加速的力。

## 2. 列车运行阻力 $W$

列车运行中由于各种原因自然发生的与列车运行方向相反的外力。它的大小是司机不能控制的。它的作用是阻止列车发生运动或使列车自然减速。

## 3. 列车制动力 $B$

由制动装置引起的与列车运行方向相反的外力。它是人为的阻力，它的大小是司机可以控制的。它的作用是使列车产生较大的减速度或者在长大下坡道防止列车超速运行，或者防止列车在车站停车时由于坡度或大风而自然溜走。

根据线路情况和列车运行要求，机车可以有三种工况，每种工况下作用于列车上的合力由不同的力组合而成：

(1) 牵引运行。作用于列车上的力有机车牵引力  $F$  和列车运行阻力  $W$ ，其合力

$$C = F - W$$

(2) 惰行。作用于列车上的只有列车运行阻力  $W$ 。故合力

$$C = -W$$

(3) 制动运行。作用于列车上的力有列车制动力  $B$  和列车运行阻力  $W$ ，其合力

$$C = -(B + W)$$

当合力  $C > 0$ ，即合力方向与列车运行方向相同，它是加速力，列车将加速运行；当合力  $C < 0$ ，即合力方向与列车运行方向相反，它是减速力，列车将减速运行；当合力  $C = 0$ ，不言而喻，列车将匀速运行。

合力是正、是负、是大、是小、是零，决定于组成该合力的牵引力、阻力和制动力的情况以及它们与线路条件、机车车辆和运行速度之间的关系。

## 复习思考题

1. “列车牵引计算”是个什么样的学科？它包括哪些内容？
2. “列车牵引计算”在哪些部门有些什么用途？
3. 《牵规》的主要内容是什么？它有什么重要意义？它是怎样制定和完善起来的？
4. 牵引计算中物理量的符号是按什么原则制定的？
5. 牵引计算中研究的是哪些力？它们的定义和不同工况下的组合有什么相同和不同之处？

# 第一章 机车牵引力

由动力传动装置引起的与列车运行方向相同的外力,称为机车牵引力。根据机械功传递过程,机车牵引力有车钩牵引力和轮周牵引力之分。根据能量转换过程中各部分工作能力的限制,蒸汽机车有锅炉牵引力、汽缸牵引力和粘着牵引力之分;内燃机车和电力机车有动力传动装置牵引力和粘着牵引力之分。

## 第一节 车钩牵引力与轮周牵引力

### 一、车钩牵引力

机车牵引力,顾名思义,应为机车牵引客、货车辆的纵向力,此力通常称为车钩牵引力或挽钩牵引力,以  $F_g$  表示,参看图 1-1(a)。欧美一些国家以它为牵引力计算标准。它比较容易测量。计算牵引重量时用它也比较方便。但是,在计算列车运行速度和运行时间的时候要以整个列车为分离体,车钩牵引力不过是机车和车辆之间相互作用的内力,参看图 1-1(b)。在机车牵引车辆时,车辆对机车也有一个反作用力  $F'_g$ 。 $F_g$  与  $F'_g$  的大小相等,方向相反。所以,  $F_g$  不是使整个列车发生运动或加速的外力。

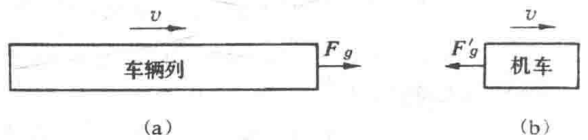


图 1-1 车钩牵引力的概念

### 二、轮周牵引力

在钢轨上运行的列车与外界的联系对象主要是空气和钢轨(电力牵引时还有接触网)。真正能使列车发生运动和加速的人为的外力,目前只能来自于钢轨(轮轨接触点)。

机车是一种能量转换装置。不论是电力机车的电能,还是内燃机车和蒸汽机车的燃料化学能,都是通过动力传动装置的作用,最终转变成机械能,并传递到动轮上。但是,动力传动装置作用在动轮上的力矩是机车的一种内力矩。如果动轮不压在钢轨上,那么,动轮只能自身旋转,而不能使机车运动。因此,使机车牵引车辆沿轨道运行的外力肯定来自钢轨和轮周。这个力的产生必需具备下列两个条件:

- (1) 机车动轮上有动力传动装置传来的旋转力矩。
- (2) 动轮与钢轨接触并存在摩擦作用。

这个力的产生过程如下:

当机车的动轮在力矩  $M$  的作用下,轮轨间出现相对运动趋势时,只要轮轨间的静摩擦作用不被破坏,则将产生动轮对钢轨的作用力  $F'$  和钢轨对动轮的反作用力  $F$ ,参看图 1-2(a)。两者的方向相反,大小相等。其值

$$F = \frac{M}{D_j/2} \quad (1-1)$$

式中  $D_j$ ——动轮直径计算值,即动轮滚动圆半磨耗时的直径。例如,一般国产内燃机车动轮

滚动圆的名义直径  $D=1\ 050\text{ mm}$ ，动轮磨耗的限度  $b=37\text{ mm}$ ，则动轮直径计算值  $D_j=D-b=1\ 050-37=1\ 013\text{ mm}$ 。

对于机车来说， $F$  就是由动力传动装置引起的，与列车运行方向相同的外力。它就是司机可以调节的机车牵引力。由于它作用于动轮轮周（踏面），所以通常称为轮周牵引力。

为了表明轮周牵引力的实质，将  $F$  简化到车轮中心  $O$  上，可得力  $F_1$  和力偶  $(F_2, F)$ ，参看图 1-2(b)。力偶矩  $F \cdot \frac{D_j}{2}$  与力矩  $M$  平衡，而力  $F_1$  使

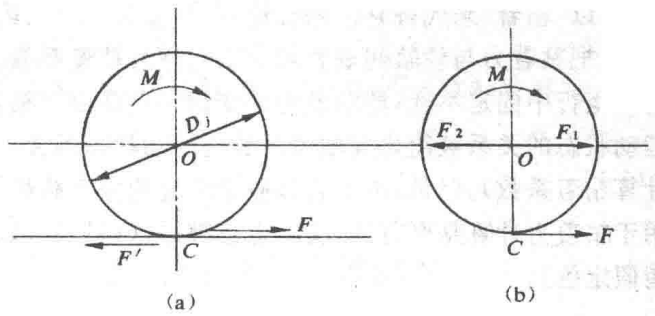


图 1-2 轮周牵引力的产生

动轮发生以轮轨接触点  $C$  为瞬时转动中心的滚动，力  $F_1$  作用到车架上，并且使机车产生平移运动。

由于机车本身移动要消耗掉一些牵引力，所以车钩牵引力总比轮周牵引力小，即

$$F_g = F - W' \text{ 或 } F = F_g + W'$$

式中  $W'$  —— 机车运行阻力。

## 第二节 轮轨间的摩擦与粘着

### 一、轮轨间的摩擦

按刚体平面运动学的分析：沿钢轨自由滚动的车轮，具有不断变化的瞬时转动中心，车轮和钢轨的各个接触点在它们接触的瞬间是没有相对运动的，轮轨之间的纵向水平作用力就是物理学上说的静摩擦力，其最大值——“最大静摩擦力”是一个与运动状态无关的常量。它等于钢轨对车轮的垂直支持力  $N$  与静摩擦系数  $\mu$  的乘积。这是一种难以实现的理想状态。倘若能达到这种状态，则可能实现的牵引力最大值约为轮轨间的最大静摩擦力。

另一种情况恰恰与前相反：轮轨间的纵向水平作用力超过了维持静摩擦的极限值——最大静摩擦力，轮轨接触点发生了相对滑动，机车动轮在强大力矩的作用下飞快转动，而轮轨间的纵向水平作用力变成了滑动摩擦力，其值比最大静摩擦力小得多，机车运行速度并不高，在铁路术语中把这种状态称为“空转”。这是一种应极力避免的不正常状态。在这种状态下，牵引力反而大大降低，钢轨和车轮都将遭到剧烈磨耗。如果在列车起动时发生机车动轮“空转”，列车没能起动而司机又没有及时采取措施减小动轮受到的力矩，甚至可以发生把钢轨的轨头磨掉，动轮陷入钢轨凹下的深坑内的严重事故。

### 二、轮轨间的粘着

实际上问题比较复杂：车轮和钢轨在很高的压力作用下都有变形，轮轨间实际是椭圆面接触而非点接触，不存在理想的瞬时转动中心；机车运行中不可避免地要发生冲击和各种振动，车轮踏面又是圆锥形，所以车轮在钢轨上滚动的同时必然伴随着微量的纵向和横向滑动。即实际不是纯粹的“静摩擦状态”，而是“静中有微动”或“滚中有微滑”；在运行过程中，由于牵引力和惯性力不是作用在同一水平面内，造成机车前后车轮作用于钢轨的垂直载荷不均匀分配。所

以,轮轨间纵向水平作用力的最大值实际上与运动状态有关,而且比物理上的“最大静摩擦力”要小得多。因此,在铁路牵引和制动理论中,在分析轮轨间纵向力问题时,不用“静摩擦”这个名词,而以“粘着”来代替它。相应地,在粘着状态下轮轨间纵向水平作用力的最大值就称为粘着力,而把粘着力与轮轨间垂直载荷之比称为粘着系数。而且,为便于应用,还假定轮轨间垂直载荷在运行中固定不变,即粘着力的变化完全是由于粘着系数的变化而引起的。这样,粘着力与运动状态的关系被简化成粘着系数与运动状态的关系。这时,粘着系数也就成了假定值(称为计算粘着系数)。但是,由于它和假定不变的垂直载荷的乘积等于实际的粘着力,所以这个假定用于粘着力计算是可行的。实际上也都是这样用的(以后凡是提到粘着系数,如无特别说明,均指假定值)。

### 第三节 粘着牵引力

粘着牵引力是受轮轨间粘着力限制的机车牵引力。在机车牵引特性图中以带有阴影的曲线表示。

机车粘着牵引力的计算公式为:

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

式中  $P_f$ ——机车的粘着重力(机车动轮对钢轨的垂直载荷之和,或全部动轴荷重之和),kN;

$P_{\mu}$ ——机车粘着重量(粘着质量),对内燃机车和电力机车,因全部车轮均为动轮,故机车粘着重量等于机车计算重量(计算质量),t;

$g$ ——重力加速度(取为  $9.81\text{m/s}^2$ ,下同);

$\mu_j$ ——计算粘着系数。

计算粘着系数与环境气候、运行速度、机车构造、线路品质和轮轨表面状态等诸多因素有关,难以用理论方法计算确定,牵引计算中应用的计算粘着系数公式,都是在大量试验的基础上,结合运用经验根据平均值整理得到的。各种机车的计算粘着系数的经验公式如下:

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

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

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

$$\text{国产电传动内燃机车} \quad \mu_j = 0.248 + \frac{5.9}{75 + 20v} \quad (1-6)$$

$$\text{ND}_5\text{型电传动内燃机车} \quad \mu_j = 0.242 + \frac{72}{800 + 11v} \quad (1-7)$$

$$\text{前进型、建设型蒸汽机车} \quad \mu_j = \frac{30}{100 + v} \quad (1-8)$$

式中  $v$ ——运行速度,km/h。

液力传动内燃机车的计算粘着系数还缺乏充分的试验资料,没有制定通用的计算公式。目前可暂用电传动内燃机车的公式进行计算。

机车在曲线上运行时,由于钢轨超高及内外侧动轮走行距离不同引起横向和纵向滑动等原因,粘着系数将要减小(通常简称为“粘降”),尤其在小曲线半径时影响更大。所以,在起动地段或限制坡道若有小半径曲线,必须进行修正和牵引重量验算(参看第六章)。

电力机车(三轴转向架)在曲线半径  $R$  小于600 m时,计算粘着系数

$$\mu_r = \mu_j(0.67 + 0.00055R) \quad (1-9)$$

内燃机车在曲线半径  $R$  小于550 m时,计算粘着系数

$$\mu_r = \mu_j(0.805 + 0.000355R) \quad (1-10)$$

蒸汽机车在小半径曲线(曲线半径  $R$  小于 600m)及隧道内运行时的计算粘着系数,现规定由试验确定。缺乏试验资料时建议参照式(1-11)计算:

$$\mu_r = \mu_j(0.664 + 0.00056R) \quad (1-11)$$

## 第四节 内燃机车的牵引特性及其计算标准

机车的牵引特性是指牵引力随速度变化的曲线,有预期牵引特性和实际牵引特性两种。预期牵引特性是设计机车时根据理论参数绘制的。由于数据取值的不准确和机组工况的复杂性,预期牵引特性仅供参考使用。实际牵引特性是以牵引热工试验为基础,并对运用中的机车进行调查后整理确定的,因而符合运用机车的实际情况,是牵引计算的原始依据之一。

图 1-3 和图 1-4 为货运内燃机车  $DF_4$ (货)型和  $ND_4$  型的牵引特性。由图可见,这两种机车在起动和速度还很低时,牵引能力受粘着的限制,速度升高后才受动力传动装置功率和性能的限制。这也是大功率货运内燃机车牵引特性的一般规律。受动力传动装置功率和性能限制的牵引力统称为“动力传动装置牵引力”。 $DF_4$ (货)型内燃机车采用有级控制。司机的控制手柄有 16 个级位。图 1-3 只画出了四个级位的动力传动装置牵引力曲线。这些曲线上标注的数字是控制手柄的级位值。 $ND_4$  型内燃机车采用无级控制,其牵引特性图上只画有柴油机标定转速  $n_c = 1350r/min$  的一条动力传动装置牵引力曲线。

图 1-5 和图 1-6 为客运内燃机车  $DF_{11}$ 型和  $BJ$  型的牵引特性。客运内燃机车由于运行速度较高,牵引力通常只受到动力传动装置功率和性能的限制。所以,在牵引特性图中可以不画粘着牵引力曲线。 $BJ$  型只画出一条最高手柄位(16 位)的牵引力曲线。 $DF_{11}$ 型的牵引特性图上有四条这样的牵引力曲线,分别对应柴油机的四种转速——1000、960、840、680r/min。

牵引力取值直接关系到牵引重量、运行速度和运输成本等一系列问题。为了统一内燃机车牵引力的计算标准,规定了下列一些计算值。

1. 计算速度  $v_j$  和计算牵引力  $F_j$

在一定的线路条件下,列车的牵引重量与它在计算坡道上的运行速度

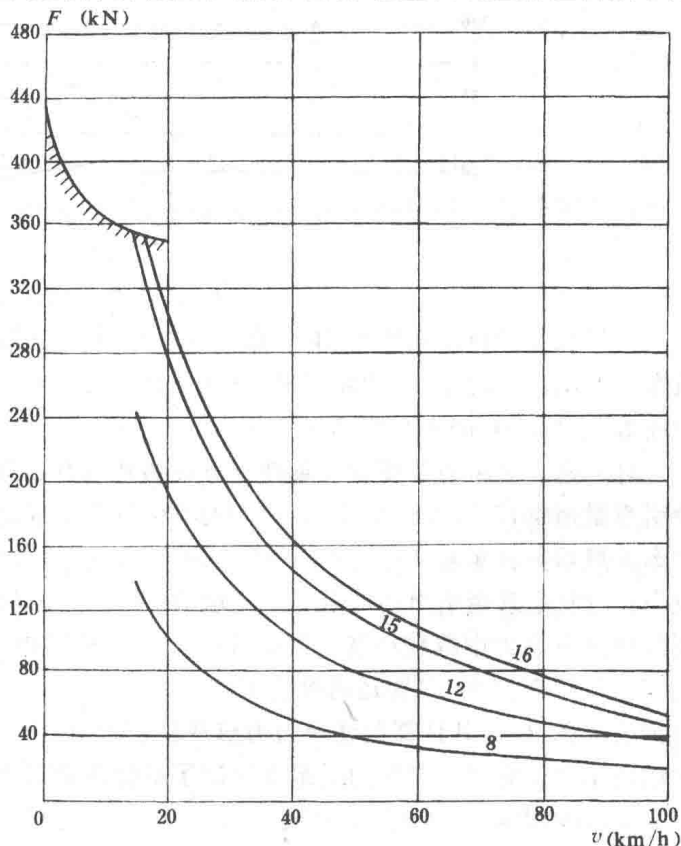


图 1-3  $DF_4$ (货)型电传动内燃机车的牵引特性

有关。运行速度降低,牵引力可提高,牵引重量可增加。反之,运行速度提高,牵引力就会降低,牵引重量也会随之减少。所以,计算牵引重量时必须先确定按什么速度下的牵引力进行计算,这个速度称为(最低)计算速度  $v_j$ 。在计算速度下的机车牵引力即为(最大)计算牵引力  $F_j$ 。

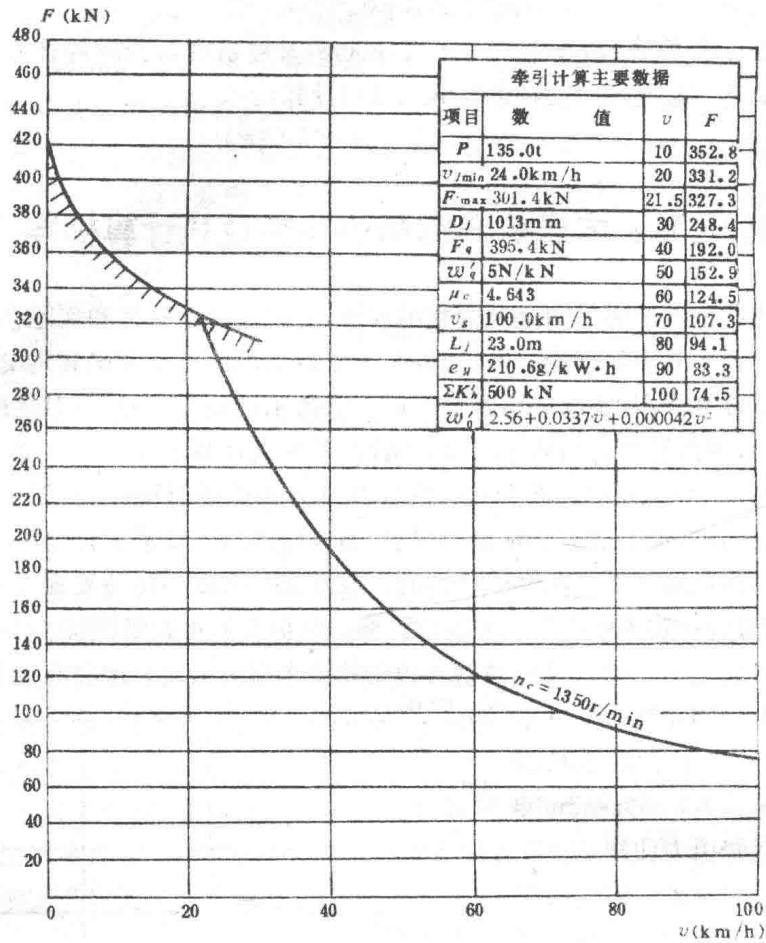


图 1-4 ND<sub>4</sub> 型电传动内燃机车的牵引特性

内燃机车取持续速度  $v_c$  和持续牵引力  $F_c$  作为计算速度和计算牵引力。持续速度是内燃机车在全功率工况下,传动装置可以长时间连续工作而不会过热的机车最低速度。

2. 计算起动牵引力  $F_q$

计算起动牵引力是按起动条件验算货物列车牵引重量的依据(旅客列车因需要速度较高,牵引重量通常较小,无需验算)。货物列车由静态变成动态的过程是由前向后逐辆发生的。当守车或最后一辆车起动时,机车速度约为2.5 km/h。由于列车的阻力是按此速度确定的,所以机车的计算起动牵引力亦应依此速度取值。对于电传动内燃机车,应在粘着牵引力和起动电流所决定的牵引力中取较小者。例如:DF<sub>4</sub>(货)型内燃机车的计算起动牵引力受粘着条件限制,  $F_q=401.7$  kN。DF<sub>11</sub>型客运内燃机车的计算起动牵引力受起动电流限制,  $F_q=253$  kN。对于液力传动内燃机车,其计算起动牵引力应在粘着牵引力和全功率牵引力中取较小者。例如:BJ型内燃机车的计算起动牵引力受最大控制手柄位的牵引力限制,  $F_q=234$  kN。

3. 不同速度下的牵引力取值

电传动内燃机车自起动至满手柄位或柴油机额定转速的牵引特性有下列两种形式:

一种是由起动电流限制线直接过渡到满手柄位或柴油机额定转速牵引力曲线,即不受粘

着牵引力限制的形式。DF<sub>11</sub>型客运内燃机车属于这种形式。它在机车速度  $v=0\sim 38.5$  km/h 范围内,取受起动电流限制的牵引力  $F=253$  kN。当机车速度  $v>38.5$  km/h 时,按柴油机转速  $n_r=1\ 000$  r/min 的牵引特性取值。

另一种是由粘着牵引力曲线,或由起动电流限制线经粘着牵引力曲线,过渡到满手柄位或柴油机额定转速的牵引特性。DF<sub>4</sub>(货)型内燃机车即属于这种受粘着牵引力限制的形式。其牵引力的取值方法,自起动开始至速度  $v=16.5$  km/h,取粘着牵引力(其中速度  $v=0\sim 2.5$  km/h,取  $v=2.5$  km/h 的粘着牵引力);速度  $v>16.5$  km/h,取满手柄位牵引特性的牵引力。

液力传动内燃机车牵引力按粘着牵引力和满手柄位牵引特性中较小者取值。例如,BJ 型内燃机车的牵引力不受粘着条件限制:在速度  $v=0\sim 2.5$  km/h 范围内,均按  $v=2.5$  km/h 取牵引力值;当速度  $v>2.5$  km/h 时,取满手柄位牵引特性上相应速度的牵引力。

#### 4. 牵引力因功率降低的修正

通常所指的内燃机车柴油机的功率,是在大气压为 101.3 kPa(760 mmHg),环境温度 20℃ 和相对湿度 60% 的标准大气条件下测定的。在高原和高温地区,由于空气密度小,进入柴油机气缸的空气量减少,将会使燃烧过程恶化,功率降低。因此必须对受动力传动装置功率和特性限制的牵引力进行修正。修正后的机车牵引力  $F_x$ ,按下式计算:

$$F_x = F \cdot \lambda_p \cdot \lambda_h \cdot \lambda_s \quad (1-12)$$

式中  $\lambda_p$ ——内燃机车牵引力海拔修正系数;

$\lambda_h$ ——内燃机车牵引力环境温度修正系数;

$\lambda_s$ ——内燃机车牵引力受隧道影响的修正系数,对 DF<sub>4</sub>B(货、客)型内燃机车,在隧道长度大于 1 000 m 时,单机或重联牵引的本务机车取为 0.88,重联机车取为 0.85。

表 1-1 和表 1-2 列出了中国几种内燃机车牵引力修正系数  $\lambda_p$  和  $\lambda_h$  的试验数据。按新《牵规》的规定,DF 型内燃机车在海拔不超过 1 000 m 的地区一般不予修正。但如柴油机排气温度高于 390℃,或排气烟度大于 1.7 波许,或按牵引发电机功率计的燃油消耗量超过 326.4 g/(kW·h),牵引力可予修正( $\lambda_p$  应不小于 0.94)。

环境温度  $t_h$  按下式计算:

$$t_h = \frac{t_7 + 2t_{13} + t_{19}}{4} \quad (1-13)$$

式中  $t_7, t_{13}, t_{19}$ ——每日 7、13、19 时的平均外温,℃,根据气象台、站测得的最高温度月份不少于 5 年的资料计算。

#### 5. 多机牵引和补机推送的牵引力修正

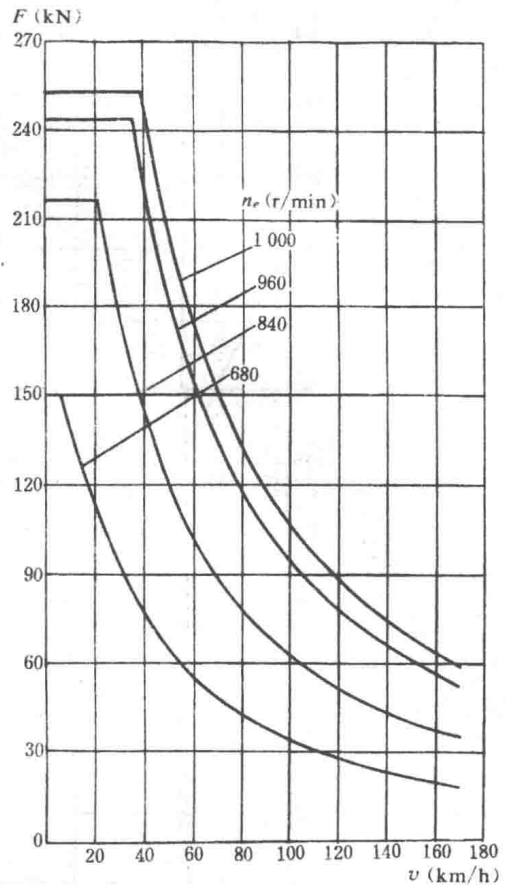


图 1-5 DF<sub>11</sub>型电传动内燃机车的牵引特性



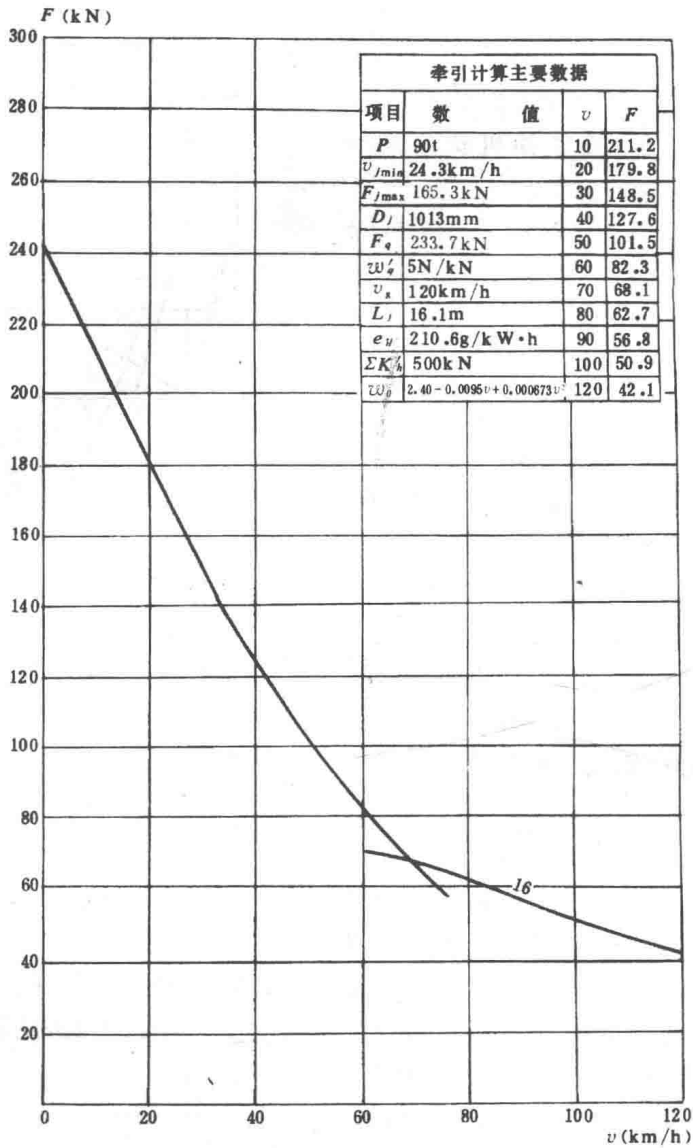


图 1-6 BJ 型液力传动内燃机车的牵引特性

内燃机车多机牵引,在使用重联操纵时,可使各机车的工况同步,每台机车的牵引力均取全值;分别操纵时,则第二台及其以后的机车牵引力均取全值的 0.98。补机在列车尾部推送时,因为与前部机车配合更加困难,因而部分车辆的车钩处于时拉时压状态,有能量消耗,故牵引力取全值的 0.95。

表 1-1 内燃机车牵引力海拔修正系数表

海拔(m)		500	1 000	1 500	2 000	2 500	3 000	3 500	4 000
大气压强(kPa)		95.23	89.64	84.32	79.4	74.61	70.22	65.97	62.85
DF		1.000	1.000	0.912	0.866	0.861	—	—	—
DF <sub>4</sub> (货、客)		1.000	0.933	0.855	0.780	0.707	0.638	0.569	0.503
DF <sub>4B</sub> (货、客)	45GP802-A 增压器	1.000	0.940	0.880	—	—	—	—	—
	ZN310 增压器	—	—	0.885	0.823	0.758	0.697	0.634	0.569