

列车牵引计算

饶 忠 主编

一九九一年

单位制(米制或公制)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也迅速上升;GK型制动机在货车中的比例和104型制动机在客车中的比例也大大上升;新型机车(如东风8、韶山4、ND5等)不断涌现。所以,现在又开始了修订牵引计算规程的研究和准备工作,第三个牵引计算规程相信不久也将问世。在这之前,本书还只能按现行牵规来进行介绍,不过,由于改用国际单位制,有些地方也不得不略有修改。

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、阅读和校对,严格规定以一定的符号代表一定的物理量。它是根据《中华人民共和国国家标准物理量符号》(GB1434—78)规定的精神,按下列基本原则编制的:

1. 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. 基本符号均用斜体书写。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。
3. 下角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。下角标的字体比基本符号略小,正、斜体均可,但基准线比基本符号稍低。

各主要量的名称、符号、单位及取值规定将在以后各章节中陆续介绍。

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阻止列车超速运行,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

$$C = F - W, \quad (\text{N})$$

2. 惰行。作用于列车上的只有列车运行阻力 W 。故合力

$$C = -W, \quad (\text{N})$$

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

$$C = -(W + B), \quad (\text{N})$$

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,它是减速度,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。

前 言

本书是根据中国铁路高等学校《铁道运输专业》和《运输经济专业》的“列车牵引计算”课程教学大纲进行编写的。在编写过程中基本参照现行的《列车牵引计算规程》的规定和数据,但按国家规定改成了国际单位制。同时也考虑了自学的特殊需要。

本书在阐述牵引力、阻力和制动力的概念,摩擦与粘着的关系,空走时间的概念及其理论推导,常用制动限速的概念及制动限速表的编制,牵引电算等方面,与以往同类教材相比,都有所创新或增加了新鲜内容。

参加本书编写工作的有:饶忠(绪论、第五章、第八章);谢让皋(第一章、第六章);许京(第二章、第七章);戴明森(第三章、第四章)。

本书由饶忠主编,戴明森主审。

在本书编写过程中,张国义、刘清、饶晓谦等协助编者作了大量的工作,特此致谢。

本书可供铁路高等学校运输、经济、机械等专业教学之用,亦可供其他专业及有关部门的工程技术人员学习或参考。

编 者

1991年8月

绪 论

“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、机车能耗(煤耗、油耗或电耗)等等。

“列车牵引计算”在铁路各个部门都得到广泛应用:

1. 铁路运输方面——为了做到“多拉、快跑、安全、正点”,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. 通讯信号方面——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。

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,铁道部特地制订和颁布了《列车牵引计算规程》(TB1407—82),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1435毫米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。《列车牵引计算规程》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,设备会得到更新,管理和操纵的水平会不断提高,这就需要用新的设备、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,牵引计算规程也要不定期地进行修订和改进。中华人民共和国建国以来的第一个牵引计算规程是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》。现行的《列车牵引计算规程》是1982年7月12日颁布、1983年1月1日开始实行的。从1958年到1983年的二十五年间,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、电运输量超过了蒸汽牵引的运输量。所以,现行的牵引计算规程包括蒸汽机车、内燃机车和电力机车三个方面的内容,比第一个牵引计算规程有了很大的发展和改进。从1982年至今的九年间,中国的基本计量制度由采用工程

目 录

绪 论	(5)
第一章 机车牵引力	(1)
第一节 车钩牵引力与轮周牵引力	(1)
第二节 摩擦与粘着	(2)
第三节 粘着牵引力	(3)
第四节 内燃机车的牵引特性	(4)
第五节 内燃机车牵引力的计算标准	(7)
第六节 电力机车牵引特性及其计算标准	(14)
第七节 蒸汽机车牵引特性及其计算标准	(20)
第二章 列车运行阻力	(26)
第一节 基本阻力	(26)
一、基本阻力的分析	(26)
二、基本阻力的计算	(29)
第二节 附加阻力	(32)
一、坡道附加阻力	(32)
二、曲线附加阻力	(33)
三、隧道附加空气阻力	(33)
四、加算附加阻力	(34)
五、其他附加阻力	(34)
第三节 起动阻力	(34)
第四节 列车阻力的计算	(35)
一、起动时的列车阻力计算	(35)
二、运行中的列车阻力计算	(36)
第三章 列车制动力	(38)
第一节 制动力的产生及其限制	(38)
一、制动力的产生	(38)
二、制动力的限制	(39)
第二节 闸瓦与车轮间的摩擦系数	(39)
第三节 闸瓦压力的计算	(41)
一、基础制动装置的传动效率	(41)
二、常用制动时制动缸的空气压力	(42)
三、列车管有效减压范围	(42)
四、紧急制动时制动缸的空气压力	(43)
第四节 列车制动力的计算	(43)

一、列车制动力的实算法	(43)
二、列车制动力的换算法	(44)
三、列车单位制动力与列车换算制动率	(46)
第五节 动力制动	(48)
一、电阻制动原理	(48)
二、电阻制动特性	(49)
三、东风 ₄ 型内燃机车电阻制动的调节与特性曲线	(50)
四、韶山 ₃ 型电力机车电阻制动的调节与特性曲线	(52)
五、有关动力制动应注意的几个问题	(52)
第四章 列车运动方程及运行时分解算	(54)
第一节 合力曲线图的绘制及应用	(54)
一、单位合力曲线图的绘制	(54)
二、单位合力曲线图的应用	(58)
三、常用制动限速	(59)
第二节 列车运动方程及其应用	(59)
第三节 列车运行时分的计算(分析法)	(62)
第四节 速度时分曲线的绘制(图解法)	(66)
一、速度曲线 $V=f(s)$ 的绘制	(66)
二、时间曲线 $t=f(s)$ 的绘制	(70)
三、速度、时分曲线绘成后的图面实例	(72)
第五节 解算列车运行时分的均衡速度法	(72)
一、原理	(72)
二、实例	(73)
第六节 线路纵断面化简	(75)
一、化简的方法	(75)
二、化简坡段加算坡度的计算	(76)
三、实例	(77)
第五章 列车制动问题解算	(80)
第一节 制动距离及其计算	(80)
一、空走时间与空走距离的计算	(81)
二、有效制动距离的计算	(83)
三、制动距离计算实例	(84)
第二节 紧急制动限速和列车换算制动率的解算	(87)
一、紧急制动限速的解算	(87)
二、列车换算制动率的解算	(89)
三、制动限速表及其应用	(90)
第六章 牵引重量	(93)
第一节 牵引重量的计算	(93)
一、按限制坡度和机车计算速度进行计算	(93)
二、按起动地段的坡度计算	(94)

三、按车站到发线有效长计算.....	(94)
第二节 牵引重量的验算	(95)
一、按小半径曲线“粘降”进行验算.....	(95)
二、按“动能闯坡”验算.....	(95)
三、长大下坡道按充风缓解时间和制动空走时间进行验算.....	(95)
四、内燃、蒸汽机车按隧道最低限速进行验算	(98)
五、电力机车按牵引电动机允许温升进行验算.....	(98)
第三节 牵引定数的确定.....	(105)
第七章 机车燃油、燃煤、电能消耗量的计算.....	(108)
第一节 内燃机车燃油消耗量的计算.....	(108)
第二节 蒸汽机车煤水消耗量的计算.....	(109)
第三节 电力机车电能消耗量的计算.....	(110)
第八章 列车牵引电算.....	(113)
第一节 牵引电算的基本概念.....	(113)
第二节 原始数据的输入.....	(115)
一、机车数据的输入	(115)
二、线路数据的输入	(116)
三、有关列车、运行及环境的其他数据的输入.....	(117)
第三节 用户选择工况的速度时分电算.....	(118)
一、坡段调整	(118)
二、速度时分电算	(118)
第四节 计算机选工况的速度时分电算.....	(119)
一、工况初选和一个坡段的速度时分电算	(120)
二、退回重算	(125)
三、进站停车试凑	(126)
第五节 计算机绘制速度时分曲线.....	(128)
一、计算机指挥绘图仪绘制	(128)
二、屏幕上绘制与打印机打印	(129)

第一章 机车牵引力

第一节 车钩牵引力与轮周牵引力

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。

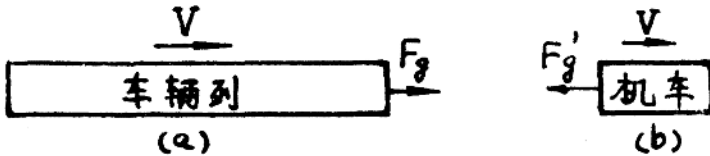


图 1-1 车钩牵引力的概念

沿轨道运行的列车与外界的联系主要是钢轨和空气(电力牵引时还有接触网)。真正能使列车发生运动和加速的外力目前只能来自于钢轨。

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. 机车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,即动轮滚动园半磨耗时的直径。例如,内燃机车动轮滚动园的名义直径 $D=1050\text{mm}$,动轮磨耗的限度 $b=37\text{mm}$,则动轮计算直径 $D_j=D-b=1050-37=1013\text{mm}$ 。

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。中国和前

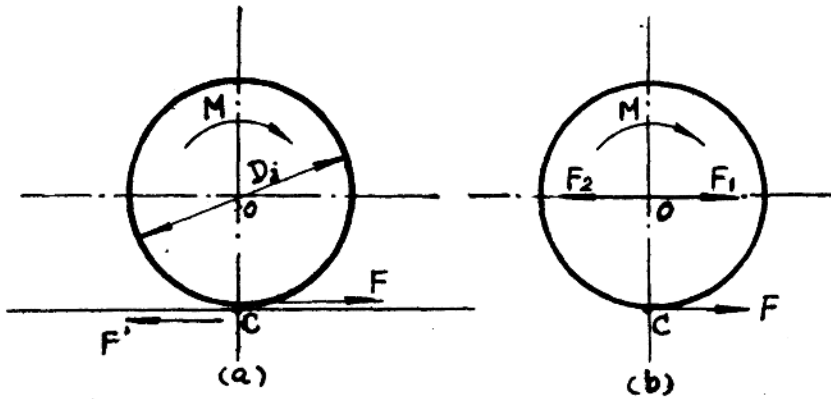


图 1-2 轮周牵引力的产生

苏联等一些国家都以它为牵引力计算标准(以后凡提到牵引力而未加说明者均指轮周牵引力)。

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 $F \cdot \frac{D_i}{2}$ 与力矩 M 平衡,而力 F_1 使动轮发生以轮轨接触点 C 为瞬时转动中心的滚动,力 F_2 作用到车架上,并且使机车产生平移运动。

由于机车本身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

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

式中 W' —— 机车运行阻力, (N)。

第二节 摩擦与粘着

机车动轮在牵引状态下滚动时,轮轨间有三种可供分析的状态:第一种是难以实现的理想滚动状态;第二种是应极力避免的“空转”状态;第三种是实际存在的“粘着”状态。

1. 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反力 N 与静摩擦系数 μ 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。

2. 第二种情况恰恰与前一种相反。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损。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。

3. 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”,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,轮轨间的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:

$$F_{\mu} = 1000 \cdot P_r \cdot \mu_j = 1000 \cdot (P_{\mu} \cdot g) \cdot \mu_j, \quad (\text{N}) \quad (1-2)$$

式中 P_r ——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_{μ} ——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,故粘着重量等于计算重量, (t);

μ_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、线路质量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:

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

$$\text{电传动内燃机车} \quad \mu_j = 0.25 + \frac{8}{100 + 20V} \quad (1-4)$$

$$\text{蒸汽机车} \quad \mu_j = \frac{A}{100 + V} \quad (1-5)$$

式中 V ——运行速度, (km/h);

A ——试验常数。前进型、FD型、建设型、解放型、人民型机车取 30,胜利型机车取 30。

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,无法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,由于钢轨超高以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”);尤其在小曲线半径上影响更大,所以在小半径曲线上必须进行修正。

电力机车和电传动内燃机车在曲线半径 $R < 600\text{m}$ 的线路上运行时,其计算粘着系数 μ_j 按下式计算:

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

蒸汽机车在曲线半径 $R < 500\text{m}$ 的线路上运行时, 计算粘着系数 μ_r , 按下式计算

$$\mu_r = \mu_j(0.70 - 0.0006R) \quad (1-7)$$

第四节 内燃机车的牵引特性

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。

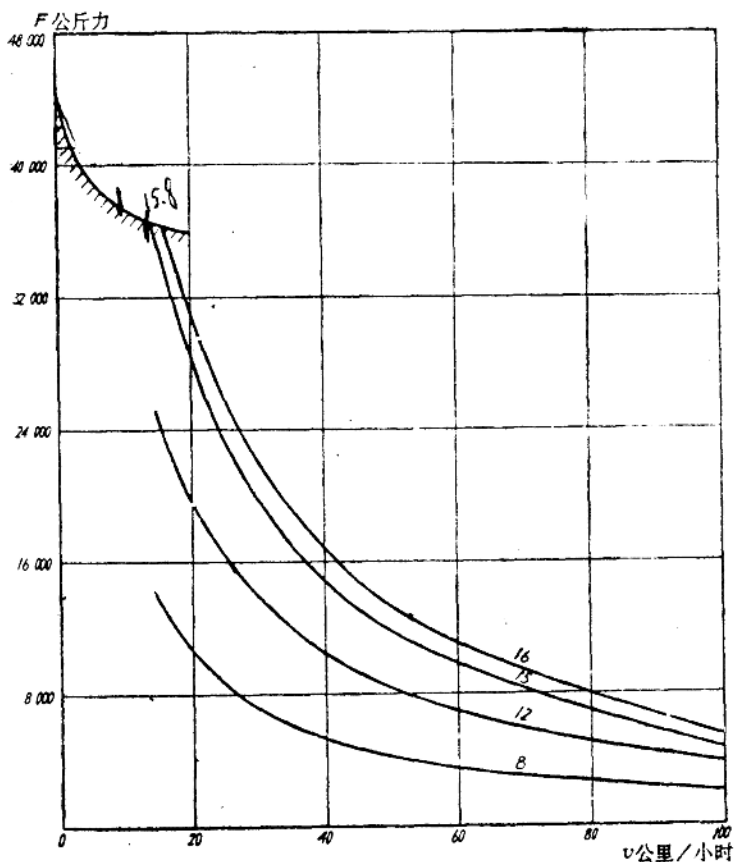


图 1-3 东风,(货)型内燃机车的牵引特性

图 1-3 和图 1-4 为货运内燃机车东风,(货)型和 ND₂ 型的牵引特性^①。由图可见, 这两种机车在起动和低速工况下, 牵引能力受粘着牵引力限制, 这也是大功率货运内燃机车牵引特

① 这些图取自“牵规”, 力的单位是 kgf, 本书没有也不便加以修改, 使用时应按 $1\text{kgf} = 9.8\text{N}$ 自行换算为国际单位制。下同。

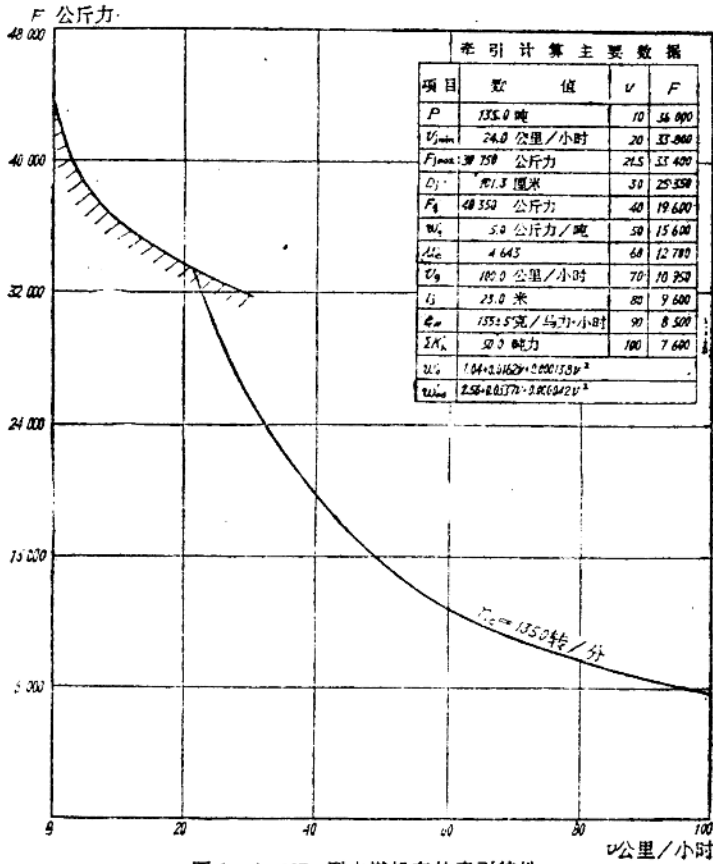


图 1-4 ND₁ 型内燃机车的牵引特性

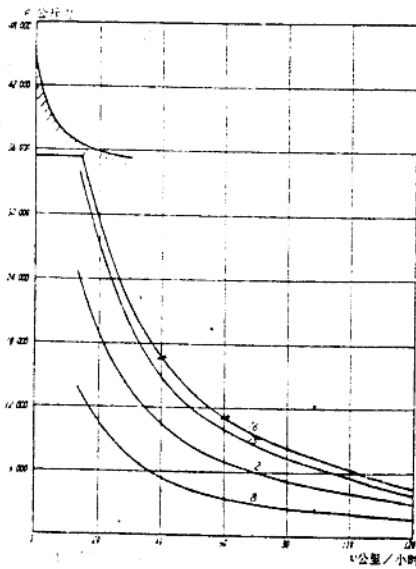


图 1-5 东风(客)型内燃机车的牵引特性

性的一般规律。东风(货)型内燃机车采用有级控制。司机的控制手柄有16个级位。其牵引特性上标注的数字为控制手柄的级位数。ND₄型内燃机车采用无级控制。其牵引特性上仅有柴油机标定转速 $n_n=1350$ 转/分 的一条牵引力曲线。

图1-5和图1-6为客运内燃机车东风(客)型和北京型的牵引特性。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的功率和性能限制,所以有时在牵引特性图中不给粘着牵引力曲线。

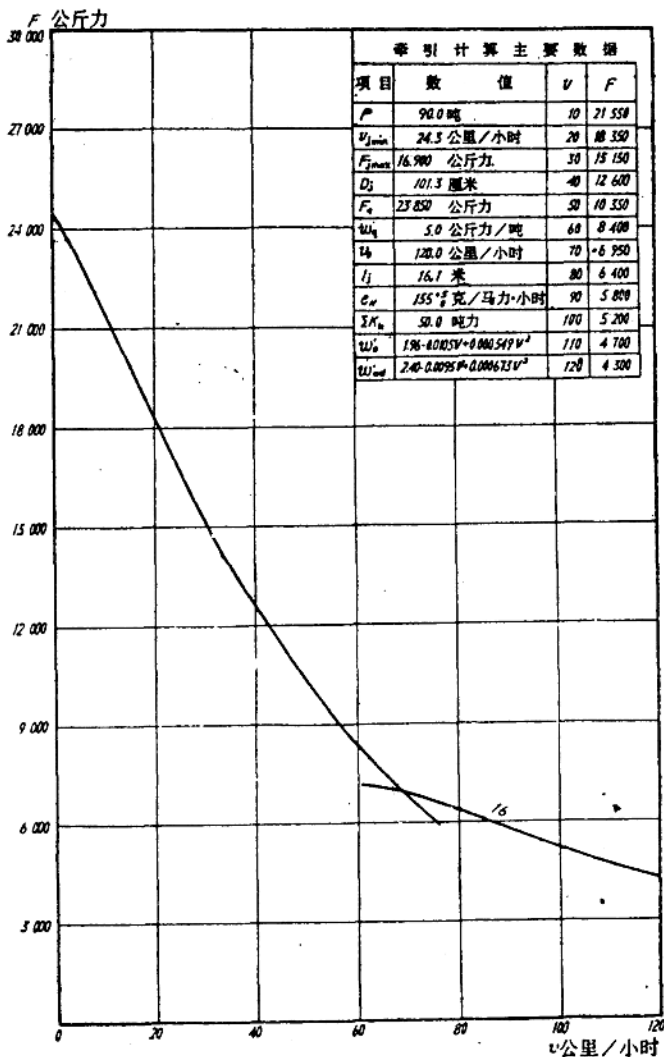


图1-6 北京型内燃机车的牵引特性

第五节 内燃机车牵引力的计算标准

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，这个速度称为计算速度 V_j 。在计算速度下的机车牵引力即为计算牵引力 F_j 。

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。

内燃机车的持续速度受传动装置的发热量和冷却装置的散热能力限制。对于电传动内燃机车，当电机负载运转时，各种电损失会引起绕组发热，发热的程度随电流和时间而增。不同的工作电流都有相应的允许工作时间。例如，东风₄型内燃机车的电机，以持续电流 $I_c = 4800A$ 工作，可以长时间连续运转，不会导致绕组的温升超过绝缘材料所允许的 $125^{\circ}C$ (图 1-7)。持续电流 I_c 所对应的机车工况即为持续速度 V_c 和持续牵引力 F_c 。东风₄(货)型内燃机车的 $V_c = 20km/h$, $F_c = 301840N (= 30800kgf)$ 。东风₄(客)型内燃机车的 $V_c = 24km/h$, $F_c = 251370N (= 25650kgf)$ 。机车在起动过程中电机的电流增大，发热加剧，电机允许连续运转的时间缩短。东风₄型内燃机车的起动电流 $I_{max} = 6000A$ ，电机在允许温升范围内的工作时间不超过 30min

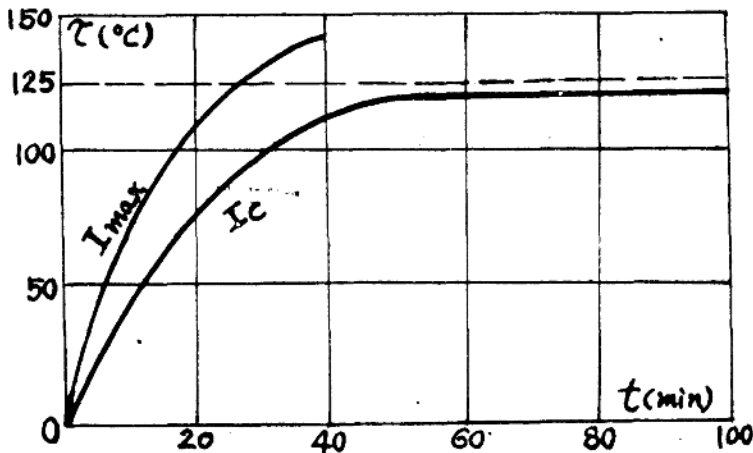
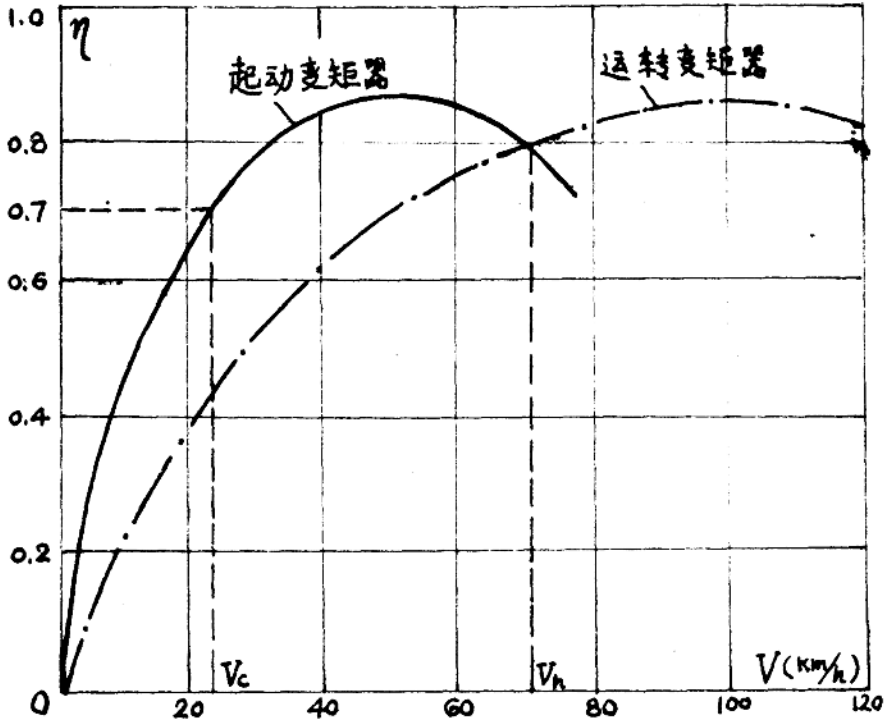


图 1-7 电机发热曲线

液力传动内燃机车的持续速度是由液力元件的效率决定的。液力变矩器的效率随机车速度的变化关系是一条抛物线(图 1-8)。因为一个变矩器的高效区较小，不能满足机车速度范围的要求。所以干线液力传动内燃机车大多采取两个液力变矩器交替工作。在起动和低速范围内工作的称起动变矩器。在中速和高速范围内工作的称运转变矩器。两者在效率 $\eta \approx 0.8$ 时进行换档。液力传动内燃机车冷却装置的散热能力是按起动变矩器的最低工作效率 $\eta_{min} = 0.7$ 设计的。与此对应的机车速度即为持续速度 V_c 。当机车以低于 V_c 的速度运行时，由于传动效

率偏低,将会使液力传动的工作油超过最高的允许温度 $t=110^{\circ}\text{C}$,从而引起机械故障。所以机车只能在起动过程中(短时间)在持续速度以下工作。北京型内燃机车的持续速度 $V_c=24.3\text{km/h}$,持续牵引力 $F_c=165620\text{N}(=16900\text{kgf})$,换挡点的速度 $V_h=72.3\text{km/h}$ 。

图 1-8 液力变速器的效率曲线



2. 计算起动牵引力 F_s

计算起动牵引力是按起动条件验算牵引重量的依据。列车由静态变成动态的过程是逐辆发生的。当守车或最后一辆车起动时,机车速度约为 2.5km/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:东风,(货)型内燃机车的计算起动牵引力受粘着条件限制, $F_s=401719.5\text{N}(=40950\text{kgf})$ 。东风,(客)型内燃机车的计算起动牵引力受起动电流限制, $F_s=346293\text{N}(=35300\text{kgf})$ 。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:北京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, $F_s=233730\text{N}(=23850\text{kgf})$ 。

3. 牵引力的修正

通常所指的内燃机车柴油机的功率,是在大气压力 $101.08\text{kPa}(760\text{mm 汞柱})$,环境温度 20°C 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。因此必须对牵引力进行修正。修正后的机车牵引力 F_s ,按下式计算:

$$F_s = F \lambda_p \lambda_n \quad (1-8)$$

式中 λ_p ——内燃机车牵引力海拔修正系数;

λ_n ——内燃机车牵引力环境温度修正系数。

我国几种内燃机车牵引力修正系数的试验数据列于表 1-1 和表 1-2。

内燃机车牵引力海拔修正系数表

表 1-1

海拔(m)	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000
大气 (kPa)	95.228	89.642	84.322	79.401	74.613	70.224	65.968	61.845
压 (mmHg)	716	674	634	597	561	528	496	465
东风、东风 ₃	1.000	1.000	0.912	0.866	0.861	—	—	—
东风 ₄ (客、货)	1.000	0.933	0.855	0.780	0.707	0.638	0.569	0.503

内燃机车牵引力环境温度修正系数表

表 1-2

环境温度(°C)	30	32	34	36	38	40
东风、东风 ₃	1.000	0.978	0.975	0.971	0.968	0.964
东风 ₄ (客、货)	1.000	0.985	0.958	0.930	0.904	0.877

环境温度 t_b 按下式计算:

$$t_b = \frac{t_7 + 2t_{13} + t_{19}}{4} \quad (1-9)$$

式中 t_7, t_{13}, t_{19} ——每日 7、13、19 时的平均外温, (°C), 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。

4. 多机牵引和补机推送的修正

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。

5. 不同速度下的牵引力取值

电传动内燃机车自启动至满手柄位的牵引特性有下列两种形式:

一种是由电流限制直线直接过渡到满手柄位牵引力曲线, 即不受粘着牵引力限制的形式。东风₄(客)型内燃机车属于这种形式。它在机车速度 $V=0\sim 15.3\text{km/h}$ 范围内, 取最大牵引电流限制的牵引力 $F=345940\text{N}(=35300\text{kgf})$ 。当机车速度 $V>15.3\text{km/h}$ 时, 按满手柄位牵引特性取值。

另一种是由粘着牵引力曲线, 或由最大电流限制线经粘着牵引力曲线, 过渡到满手柄位牵引特性。东风₄(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, 自启动开始至速度 $V=15.8\text{km/h}$, 取粘着牵引力; (其中速度 $V=0\sim 2.5\text{km/h}$, 取 $V=2.5\text{km/h}$ 的粘着牵引力); 速度 $V>15.8\text{km/h}$, 取满手柄位牵引特性的牵引力。

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

按现行牵引计算规程的规定, 原工程单位制牵引力的取值已化整为 50 的整数倍。其修约规则为: 24 舍, 25 入为 50, 74 舍为 50, 75 入为 100。因此, 本书在换算为国际单位制时只将小数按 4 舍 5 入化为整数。

表 1-3、1-4、1-5、1-6 分别列出了中国东风、东风₃、东风₄(货)和东风₄(客)等型内燃机车牵引计算所需的主要数据, 供读者取用。其中:

计算重量——空车重量加 $2/3$ 额定载重之和, 额定载重包括按规定上足的燃料、水、砂、润滑油以及按规定配备的工具和信号用具等重量;

构造速度——机车设计的最大速度;

机车全长——两端车钩均在闭锁状态、无外力作用时, 车钩连结线之间的水平距离。

东风型内燃机车牵引计算主要数据表

表 1-3

计算质量 P (t)	粘着质量 P _s (t)	最低计算速度 V _{min} (km/h)	最大计算 牵引力 F _{max} (N)	动轮计算 直径 D ₁ (cm)	计算起动 牵引力 F ₁ (N)	计算起动 阻力 w ₁ ' (N/kN)	齿轮传动 比 μ _c	构造速度 V _c (km/h)	机车全长 L ₁ (m)								
124	124	18.0	190120	101.3	300860	5.00	4.41	100	17.0								
速度 V (km/h)		10	11	20	40	50	70	80	90	100							
牵 引 力 F (N)	电 流 限 制 牵 引 力 (N)	300860	300860	—	—	—	—	—	—	—							
		8	—	78890	41160	31360	23030	17640	10780	—							
		12	—	—	61250	45570	34300	26460	20580	—							
		15	—	—	157780	58800	47530	38220	30380	18130							
16	—	—	300860	169050	89670	57820	47040	37240	20580								
牵 引 工 况 燃 油 消 耗 量 e ₁ (kg/min)	手 柄 级 位 n ₁	8	2.20	2.20	2.20	2.15	2.20	—	—	—							
		12	3.42	3.42	3.37	3.32	3.27	2.88	2.55	—							
		15	4.70	4.70	4.67	4.65	4.47	4.25	3.85	3.53							
		16	5.15	5.15	5.25	5.25	5.18	4.95	4.62	4.13	3.80						
手柄级位 n ₁		0,1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
柴油机空转的燃油消耗量 e ₀ (kg/min)		0.39	0.44	0.50	0.55	0.60	0.68	0.74	0.80	0.88	0.96	1.06	1.14	1.25	1.36	1.52	1.70