

高等学校试用教材

牵引计算学

钮泽全 主编

宋 珏 主审

中国铁道出版社

1985年·北京

前 言

本书是在《牵引计算学》讲义的基础上编写的。原来的讲义是在1979~1980年经张振鹏、黄承宙、李经田等同志提供资料，由李致中、张继和、毛节铭、陈凤梅、许维瑾等同志分章编写，并由戴明森、张国伍两同志先后汇编而成的。

1983年铁道部批准颁布《列车牵引计算规程》，这对本书的编写提供了有利条件。本书所用的主要计算数据、公式、图表、标准等与《列车牵引计算规程》基本上是一致的。

本书第一章关于牵引力的产生以及第三章关于制动力的产生都是采用熊秉衡同志所提出的分析方法；第八章是由饶忠同志编写，第九章是由黄问盈同志编写的。

本书在编写过程中自始至终都是由许维瑾同志协助执笔。

谨向以上所提到的诸同志以及凡是为本书出力协助的人员深致谢忱。

主 编 者

1984年3月

内 容 简 介

本书介绍各种机车牵引力的产生和计算；列车运行阻力与制动力的产生和计算；列车运行时间的解算；列车制动问题的解算；牵引重量与机车燃料、电能消耗量的计算等方面的基本理论和实用方法。

本书可作为铁路高等院校运输、经济、机车车辆专业的教材，亦可供铁路运营、线路设计及计划人员参考。

高等学校试用教材

牵 引 计 算 学

北方交通大学 钮泽全 主编

上海铁道学院 宋 珏 主审

中国铁道出版社出版

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本：787×1092毫米 $\frac{1}{16}$ 印张：8.25 字数：198千

1985年6月 第1版 第1次印刷

印数：0001—5,000册 定价：1.60元

目 录

绪 论	1
第一章 机车牵引力	3
第一节 机车牵引力的概念	3
第二节 蒸汽机车牵引力	5
第三节 电力机车牵引力	14
第四节 内燃机车牵引力	19
第二章 列车运行阻力	30
第一节 概 述	30
第二节 基本阻力	30
第三节 附加阻力	34
第四节 列车运行阻力计算	38
第三章 列车制动力	39
第一节 概 述	39
第二节 制动力的分析	39
第三节 闸瓦制动力的计算	41
第四节 机车动力制动	47
第四章 列车运动方程式及运行时间的解算	52
第一节 单位合力曲线	52
第二节 列车运动方程式	55
第三节 列车运行时间的解算	57
第四节 线路化简纵断面	66
第五章 列车制动问题	69
第一节 制动距离	69
第二节 列车制动问题的解算	71
第三节 闸瓦压力表	76
第六章 牵引重量	79
第一节 牵引重量的计算	79
第二节 牵引重量的校验	80
第三节 牵引定数的制定	87
第七章 机车煤、油、电消耗量计算	91
第一节 蒸汽机车煤、水消耗量计算	91
第二节 内燃机车燃油消耗量计算	93
第三节 电力机车电能消耗量计算	95
第八章 列车运行速度和运行时间的电算法	99

第一节	概 述	99
第二节	工况选择和运行计算	101
第三节	换坡点限速和出坡速度的检验	104
第四节	退回重算过程	107
第五节	进站停车试凑	109
第九章	解算列车牵引问题的其它方式方法	111
第一节	均衡速度法	111
第二节	牵引问题的直接积分求解	115
第三节	牵引问题的图算	123

绪 论

一、课 程 内 容

《牵引计算学》是一门研究铁路上牵引列车的实用学科。它以力学为基础，以科学试验资料和机车操纵的先进经验为依据，分析、解算机车牵引列车运行中的一些主要问题。例如：机车牵引重量、列车运行速度及运行时间、机车能耗、列车制动问题等。

为解算上述问题又必须研究在各种外力作用下列车的运动。因此，本课程主要包括以下三部分：

1. 作用于列车上的力——这里只研究直接影响列车运动的力。它们是：

(1) 机车牵引力 F ——由机车动力装置引起的、通过机车动轮与钢轨的相互作用而产生的力。它是司机可以控制的、使列车运动的力。

(2) 列车运行阻力 W ——列车运行时由各种原因引起的、阻止列车运行的力。其大小不能由司机控制。

(3) 列车制动力 B ——为使列车减速或停止，司机操纵制动装置，通过轮轨间的相互作用而产生的力。

列车在不同的工作情况（牵引、惰行、制动）下，这三种力以不同的组合方式形成了作用于列车上的合力。

2. 列车运动方程式——作用于列车上的合力与列车运动参数间的数学关系式。这是解算列车运行中一系列问题的基础。

3. 列车运行中一些主要问题的解算。

二、课 程 特 点

1. 广泛应用

铁路运输是由机车牵引列车以输送旅客和货物。铁路各部门的工作就是为了多、快、好、省地完成运输任务。具体地说，就是要做到“多拉、快跑、安全、正点、节能”。牵引计算中所研究、解决的牵引重量、运行速度和时间、制动问题、能耗计算等就是直接针对这五个方面的。因此，《牵引计算学》在铁路各部门工作中及各部门相互联系、配合中都得到广泛的应用。

尤其在运输管理、线路设计、机车车辆制造和运用、计划统计等方面，牵引计算为运营指标计算，为铁路通过能力、输送能力的计算，车站、机务段的分布，机车交路的确定，线路纵断面的确定，机车功率选择，机车车辆制动能力及其它技术要求的确定，设备投资、运营支出的计算等，提供了不可缺少的基本资料。

在铁路院校中，《牵引计算学》是运输、机车、选线、经济各专业必须学习的课程。

2. 不断发展

影响列车运动的因素很多也很复杂，若要一一考虑并用理论方法计算它们是很困难的。因此，只能是根据牵引计算理论、结合大量的试验，整理出一些既简单实用、又比较符合实际的图表、曲线、公式，作为一定时期内牵引计算的标准。

但是，这些计算标准不是固定不变的。随着科学技术的发展，设备得到更新，管理、操纵水平不断提高，原来的试验条件改变了；这就需要用新的设备、新的测试方法进行新的试验。同时，计算技术的发展，从计算方法上有可能考虑更多的因素。这样，用发展了的计算方法和新的试验结果，又可以得出新的计算标准，作为新的一段时期内牵引计算的依据。

《牵引计算学》就是这样在不断地发展和完善着。

由铁道部颁布的《列车牵引计算规程》规定了牵引计算方法及所用主要技术数据的标准，作为进行牵引计算的依据。同样，它并不是固定不变的，也需要不断的修订。

第一章 机车牵引力

第一节 机车牵引力的概念

一、轮周牵引力与车钩牵引力

不论什么机车（蒸汽、内燃、电力），产生牵引力必须具备两个主要条件：第一，机车动力装置传给动轮对以旋转力矩；第二，机车动轮与钢轨的相互作用。现以一对动轮受力情况为例，说明机车牵引力的产生及其实质。

图 1-1 为一对机车动轮受力情况。 M_i 为由动力装置传来的力矩； Q_i 为一对动轮承受的载荷； $Q_i \cdot \varphi$ 为轴颈与轴承间的摩擦力，其中 φ 为摩擦系数； T_i 为轴承作用于轴颈的反力； N_i 为钢轨给轮对的支反力； f_i 为钢轨作用于动轮的摩擦反力； R_i 为动轮半径； r_i 为动轴半径； m_i 为滚动摩擦系数。以 J 表示轮对转动惯量； ε_i 表示轮对转动角加速度。则轮对力矩方程为：

$$M_i - f_i \cdot R_i - N_i \cdot m_i - Q_i \cdot \varphi \cdot r_i = J \cdot \varepsilon_i \quad (1-1)$$

$$\text{可得出 } f_i = \frac{M_i}{R_i} - \frac{N_i \cdot m_i}{R_i} - \frac{Q_i \cdot \varphi \cdot r_i}{R_i} - \frac{J \cdot \varepsilon_i}{R_i} \quad (1-2)$$

由此可见，机车动轮对由动力装置得到旋转力矩 M_i ，轮轨间在其接触处就有相对滑动趋势，从而引起钢轨作用于动轮周的摩擦反力 f_i 。 f_i 中包括四项，力矩 M_i 引起的部分，滚动摩擦引起的部分，轴承与轴颈间摩擦引起的部分和动轮转动角加速度引起的部分。

由机车动力装置产生的力矩 M_i 所引起的那部分钢轨作用于动轮周的摩擦反力 $\frac{M_i}{R_i}$ ，就叫做机车轮周牵引力。整个机车的轮周牵引力以 F_i 表示，则

$$F_i = \sum \frac{M_i}{R_i}$$

它的大小可以由司机调节 M_i 来控制。

机车车钩牵引力（或称挽钩牵引力）是指机车用来牵引列车的那部分牵引力。若用 F_g 表示车钩牵引力，它与轮周牵引力的关系为：

$$F_g = F_i - W'$$

式中 W' —— 机车总阻力。

在牵引计算中可以取用这两种牵引力中的一种。我国取用轮周牵引力，所以《列车牵引计算规程》中规定：“牵引计算中的机车牵引力 F ，均按动轮轮周牵引力计算”。

二、粘着牵引力

虽然牵引力的大小可由司机改变 M_i 来调节，但它是有限制的。因为产生牵引力的两个主要条件都有一定的变化范围。首先，力矩 M_i 受动力装置功率及机车各主要部分工作能力

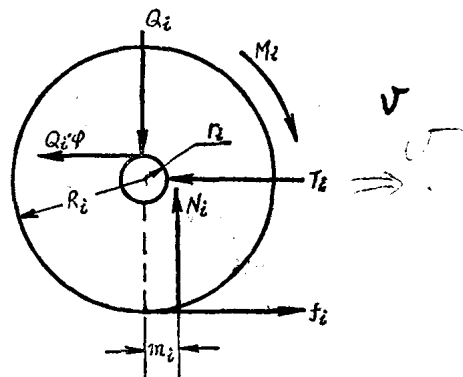


图 1-1 动轮对受力图

$$F_i = \sum \frac{M_i}{R_i}$$

的限制，其次钢轨作用于动轮周的摩擦反力的大小也有一定的限制。力矩的限制各种机车互不相同，将在后面几节分别叙述，这里先讨论各种机车共有的轮轨间相互作用的限制。

为分析方便起见，假设不考虑滚动摩擦和轴承、轴颈间的摩擦，这样前面公式(1—1)及(1—2)可写成：

$$M_i - f_i \cdot R_i = J \cdot \varepsilon_i$$

及

$$f_i = \frac{M_i}{R_i} - \frac{J \cdot \varepsilon_i}{R_i}$$

再假设动轮匀速转动，即 $\varepsilon_i = 0$ ，则 $f_i = \frac{M_i}{R_i}$ 。

若轮轨接触处无相对滑动，即在静摩擦范围内时，则加大 M_i ，牵引力 F 、摩擦反力 f_i 均随之增大。当 f_i 达到其最大值——最大静摩擦力 $f_{i, \max}$ 时牵引力 F 亦达到最大值。这就是机车牵引力受到轮轨间最大静摩擦力的限制，牵引计算中通常叫做受轮轨间粘着能力的限制。

受动轮与钢轨间粘着能力的限制，机车牵引力所能达到的最大值就称为机车粘着牵引力，以 F_μ 表示。

以 P_i 表示每一动轴轴重， μ 表示轮轨间静摩擦系数——牵引计算中称为理论粘着系数，则因轮轨间粘着能力的限制，每一动轴能实现的最大牵引力为 $f_{i, \max} = P_i \cdot \mu$ 。但机车在运行中情况是复杂的。例如，蒸汽机车牵引力在不断地、周期地变化着，内燃、电力机车各动轴的牵引力值 $\frac{M_i}{R_i}$ 互有差别，各动轴轴重亦有变化（有增、有减，各不相同），动轮在钢轨上实际不是纯滚动，而是纵向横向都有程度不同的滑动，再加轮轨接触面状态的影响，所以真正的粘着系数既小于理论粘着系数又是在变化着的。

为计算方便起见，可把上述各种复杂的变化因素都集中考虑在一个减小了的粘着系数中，称为计算粘着系数，以符号 μ_i 表示之。这样，机车粘着牵引力即可表示为：

$$F_\mu = \sum P_i \cdot \mu_i = P_\mu \cdot \mu_i$$

式中 P_μ ——机车粘着重量，t，即各动轴轴重之和 $P_\mu = \sum P_i$ 。一般的内燃、电力机车没有导、从轮，粘着重量即为机车的计算重量 P 。

粘着重量以吨(t)计算，牵引力单位用公斤力(kgf)。因此，机车粘着牵引力的计算公式为：

$$F_\mu = 1000 P_\mu \cdot \mu_i \text{ (kgf)} \quad (1-3)$$

对一定的机车来说， P_μ 是固定不变的，所以 F_μ 随 μ_i 的大小而变化。

计算粘着系数既然集中了那么多的变化因素，显然不可能用理论方法——计算，只能用专门的试验得出经验公式。公式中只考虑了机车类型的不同及速度变化的影响，其它因素则反映在公式的试验系数中。

因为计算粘着系数是由试验决定的，所以在分析粘着牵引力时，所作的假设并不影响牵引力的计算结果。

各种机车计算粘着系数经验公式如下：

$$\text{电力机车} \quad \mu_i = 0.24 + \frac{12}{100 + 8v} \quad (1-4)$$

$$\text{电传动内燃机车} \quad \mu_i = 0.25 + \frac{8}{100 + 20v} \quad (1-5)$$

$$\text{蒸汽机车} \quad \mu_i = \frac{A}{100 + v} \quad (1-6)$$

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27。

液力传动内燃机车试验资料尚少, 还不足以整理出通用的经验公式, 有待于进一步研究。

从公式中可以看出, μ_j 都随速度的增加而降低。因此机车粘着牵引力 F_{μ} 也随 v 的增加而降低。这个规律对各种机车都是适用的。

机车在曲线上运行时, 因运动更不平稳、轮轨间滑动加剧等原因, 粘着系数降低, 尤其在小半径曲线上更为明显。在这种情况下需要对计算粘着系数进行修正。

电力机车、电传动内燃机车在曲线半径 R 小于600m的曲线上运行时, 其计算粘着系数 μ_r 按下式计算:

$$\mu_r = \mu_j (0.67 + 0.00055R) \quad \text{小半径曲线 } M_r = M_j \quad (1-7)$$

蒸汽机车在曲线半径 R 小于500m的曲线上运行时, 计算粘着系数 μ_r 按下式计算:

$$\mu_r = \mu_j (0.70 + 0.00060R) \quad (1-8)$$

当机车牵引力已达到其粘着值, 即钢轨作用于动轮周的摩擦反力 f_i 达到最大静摩擦力 $f_{i, \max}$ 时, 若再加大 M_i , 机车动轮与钢轨间即产生滑动。此时摩擦反力 f_i 是滑动摩擦力, 其值小于 $f_{i, \max}$, 则滑动加快, 而滑动摩擦系数随之更降低, f_i 值更小, 轮对滑动更快。这就是动轮“空转”的现象。此时, 机车牵引力减小, 轮轨被擦伤, 运动机件可能被损坏, 蒸汽机车则引起燃烧恶化……。所以在实际运用中应极力避免“空转”的发生。通常采取以下措施, 以改善粘着、防止空转: 加强维护、保养, 以保持机车、线路的良好状态; 正确操纵, 适时撒砂; 蒸汽机车装用粘重增大器, 电力、内燃机车采用防空转保护装置等。

第二节 蒸汽机车牵引力

一、蒸汽机车牵引力的限制

蒸汽机车的工作过程是: 燃料在锅炉中燃烧, 使水蒸发, 产生压力、温度都较高的过热蒸汽, 送往汽缸; 蒸汽在汽缸中推动活塞做功, 经活塞杆、十字头、摇杆、连杆等传至动轮, 使动轮获得为产生牵引力所必须的旋转力矩; 通过轮轨的相互作用——粘着, 产生牵引力。

因此, 蒸汽机车牵引力的限制在于: ①受动轮得到的力矩大小的限制, 即受两个主要工作部分——锅炉和汽机工作能力的限制; ②受轮轨间粘着能力的限制。由这些限制, 引出了蒸汽机车牵引力的三个概念:

1. 粘着牵引力——受轮轨间粘着能力的限制, 牵引力所能够达到的最大值;
2. 汽缸牵引力——根据汽缸工作能力的限制所确定的机车牵引力;
3. 锅炉牵引力——根据锅炉工作能力的限制所确定的机车牵引力。

关于蒸汽机车粘着牵引力, 除计算粘着系数公式与电力、内燃机车都不相同外, 其它如分析、计算方法等各种机车都一样, 在第一节中已经讨论, 这里不再重复。

二、汽缸牵引力

蒸汽在汽缸内的工作过程及其压力变化情况是这样的（以鞣鞣前侧为例、鞣鞣从前死点开始）：锅炉中产生的蒸汽送往汽缸的过程中有压力损失，进入汽缸时压力较锅炉中压力 p_i 低。随着推动鞣鞣后移，蒸汽压力又略有下降。汽口关闭时，进汽过程終了，蒸汽膨胀继续推动鞣鞣作功，压力不断降低。在鞣鞣到达后死点前，汽口打开，使蒸汽得以预先排出一部分，蒸汽压力迅速下降。鞣鞣到后死点返回，将膨胀终了的蒸汽排出，将近前死点时，汽口关闭，尚未排出的蒸汽被压缩，压力提高。直到鞣鞣回到前死点，汽口再次打开，开始了又一个循环。可见，在鞣鞣一个往返的循环中，蒸汽压力是变化的。在进汽、膨胀过程中，蒸汽压力由高到低作正功。在排汽、压缩过程中，蒸汽被压缩作负功。两者之差即鞣鞣在一个往返中蒸汽在汽缸一侧所作的功。

蒸汽机车汽缸是双作用式的，即鞣鞣两侧同时工作。前侧为进汽、膨胀过程时，后侧为排汽、压缩过程；前侧为排汽、压缩过程时，后侧为进汽、膨胀过程。

机车动轮一转中蒸汽在左右两个汽缸中作的功，扣除机械损失，应等于动轮一转中牵引力所作的功。即：

$$2 \left[\frac{\pi d^2}{4} \cdot p_i \cdot l + \frac{\pi (d^2 - d_1^2)}{4} \cdot p_i \cdot l \right] \cdot \eta_m = F \cdot \pi \cdot D_i$$

式中 d —— 汽缸内径；

d_1 —— 鞣鞣杆直径；

l —— 鞣鞣行程（前、后死点间距离）；

p_i —— 汽缸平均指示压力（汽缸鞣鞣在往返各一行程中所受到的平均有效蒸汽压力）；

η_m —— 机械效率；

D_i —— 计算动轮直径。

鞣鞣杆截面积 $\frac{\pi d_1^2}{4}$ 约占鞣鞣面积 $\frac{\pi d^2}{4}$ 的百分之三。整理上式，并引入平均指示压力系数

ξ —— 平均指示压力 p_i 与锅炉压力 p_i 之比，则得汽缸牵引力公式：

$$F = 0.985 \frac{d^2 l}{D_i} \cdot p_i \cdot \eta_m \cdot \xi$$

$$\xi = \frac{p_i}{p_i}$$

由上式，可分三部分对汽缸牵引力进行分析：

1. $0.985 \frac{d^2 l}{D_i} P_i$ 部分 —— 表明了汽缸尺寸、动轮直径、锅炉压力对机车牵引力的影响，并给出了机车牵引力的范围，因此称为蒸汽机车牵引力模数，对一定的机车，这些参数是不变的。也就是说，一定的蒸汽机车，有一定的牵引力模数。

2. 机械效率 η_m —— 反映了机车各运动部件的工作质量。在实际运用中加强保养、充分润滑，可以提高机车牵引力。但 η_m 的变化范围较小，对牵引力的影响不大。

3. 平均指示压力系数 ξ —— 在机车工作过程中变化较大，对汽缸牵引力起着决定性的作用。因为平均指示压力是由蒸汽在汽缸中作功的多少决定的，所以平均指示压力或平均指示压力系数的大小和变化就反映了机车汽缸牵引力的变化。影响平均指示压力系数的因素很多，主要的有：

（1）汽门（调整阀）开度 —— 汽门开度小，蒸汽流动阻力加大，压力损失增大，则进

入汽缸的蒸汽压力降低, 做功减少, 平均指示压力、平均指示压力系数减小, 汽缸牵引力随之降低。因此, 运用中汽门应该适当大开。牵引计算中都按汽门全开计算。

(2) 遮断比 ε —— 遮断比是进汽过程的鞣鞣行程与整个行程 l 之比。它表示进汽的多少。显然, 遮断比加大, 进到汽缸中的蒸汽量就多, 平均指示压力增大, 牵引力提高。在蒸汽机车牵引运行时, 司机主要是操纵回动手把, 改变遮断比, 以得到不同的牵引力。

(3) 运行速度 v —— 在同样的汽门开度和遮断比的情况下, 速度提高, 汽缸中鞣鞣往返工作次数增多, 需要的蒸汽量多, 但进、排汽时间缩短。因而蒸汽流速加快, 阻力增加, 压力损失增大。于是进汽压力下降、排汽压力提高, 做功减少, 平均指示压力降低, 牵引力减小。

综上所述, 蒸汽机车汽缸牵引力主要是由汽缸遮断比决定的。在同一遮断比时, 当速度提高时牵引力下降。

$F \cdot v = \text{常数}$

三、锅炉牵引力

燃料在锅炉中燃烧, 使锅水蒸发成蒸汽; 再进一步加热, 使之变成有一定压力和温度的过热蒸汽。锅炉中产生的蒸汽一小部分供机车附件使用, 不产生牵引力; 其余大部分供给汽机做功, 这部分蒸汽的多少, 就决定了蒸汽机车锅炉牵引力的大小。因此, 锅炉每平方米蒸发面积、每小时能供给汽缸的蒸汽量——称为锅炉供汽率 Z_g ($\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$), 就是反映锅炉工作能力、确定锅炉牵引力的一个最重要的参数。

机车轮周功率 N 与轮周牵引力 F 的关系可用下式表示:

$$N = \frac{F \cdot v \cdot 1000}{3600 \times 75} = \frac{F \cdot v}{270} \quad (\text{Hp}) \quad (1-9)$$

若同锅炉供汽率联系起来, 则有下列关系式:

$$N = \frac{F \cdot v}{270} = \frac{Z_g \cdot A_z}{U/N}$$

由此得出锅炉牵引力的公式:

$$F = \frac{270 Z_g \cdot A_z}{U/N} \cdot \frac{1}{v}$$

式中 A_z —— 锅炉蒸发面积;

U/N —— 耗汽率。表示每轮周马力每小时汽缸消耗的蒸汽量。

对一定的机车来说锅炉蒸发面积 A_z 是固定的。因此在运用中, 机车锅炉牵引力受以下几个因素的影响:

1. 供汽率 Z_g —— 它是决定锅炉牵引力的主要参数。供汽率大, 则机车牵引力亦大。供汽率又受锅炉构造、状态及乘务员焚火、操纵技术的影响, 还与所用煤的质量有关。

2. 运行速度 v —— 在相同供汽率情况下, 机车速度愈高, 汽缸工作次数增加, 每次进汽量必然减少, 牵引力就降低。

3. 耗汽率 U/N —— 这是反映汽机经济性的一个综合参数。它既表明了汽机做功的多少, 又表明了消耗蒸汽的数量。耗汽率又受汽门开度、遮断比、运行速度的影响, 各种机车耗汽率随它们的变化关系各不相同。为充分利用蒸汽, 应尽量降低耗汽率, 以提高机车的经济性, 在一定的供汽情况下实现更大的牵引力。

四、蒸汽机车牵引力曲线

前面分别讨论了蒸汽机车的三种牵引力：粘着牵引力、汽缸牵引力及锅炉牵引力。这三种牵引力都随着运行速度而变化。经过一系列机车牵引热工试验绘出的这三种牵引力随速度而变化的关系曲线就是蒸汽机车牵引力曲线。它反映了整个蒸汽机车各种牵引力的大小、变化规律及相互关系。

图 1—2 到图 1—7 为我国目前应用得较多的主型蒸汽机车牵引力曲线图。图中上部各有一条带有阴影的曲线即粘着牵引力曲线。该曲线反映了粘着牵引力 F 随速度提高而下降的变化。图中一组注有 0.2、0.3、0.4、……等数字的曲线为汽缸牵引力曲线，数字表示遮断

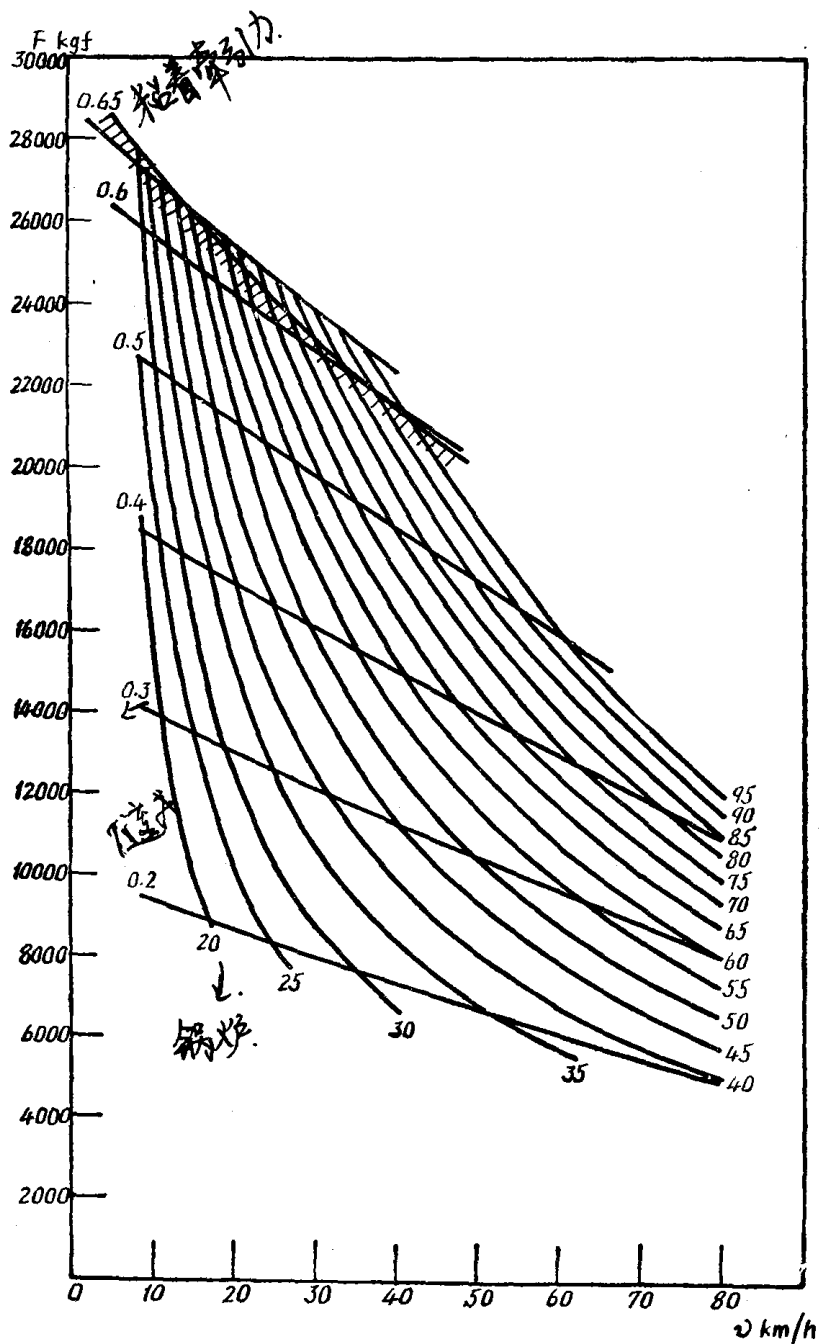


图 1—2 前进型蒸汽机车牵引力曲线图

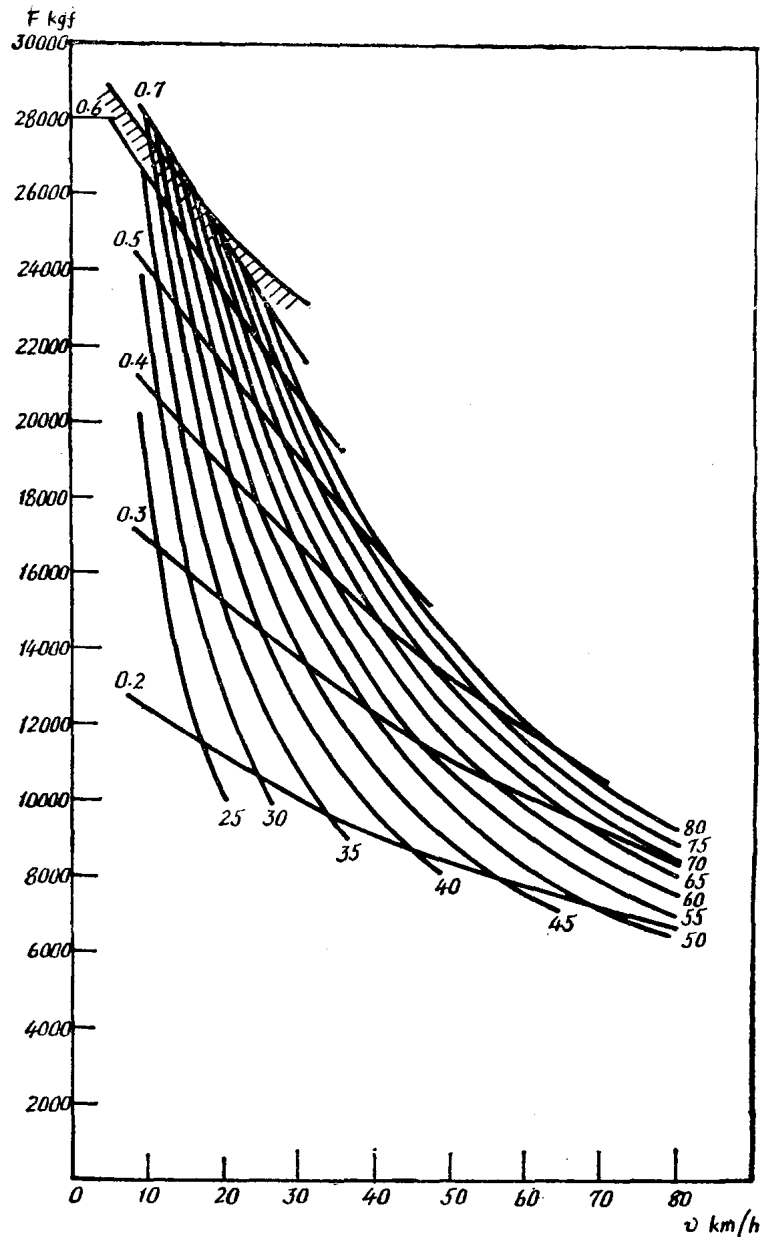


图 1—3 FD型蒸汽机车牵引力曲线图

比 ϵ 。可见每个遮断比各对应一条曲线，即汽缸牵引力由遮断比 ϵ 决定。遮断比 ϵ 大，曲线位置在上，汽缸牵引力大。当遮断比不变时，即对应每一个固定的遮断比，汽缸牵引力随速度增加而降低。图中线旁注有20、25、30、35、……等数字的一组曲线为锅炉牵引力曲线，数字表示锅炉供汽率 $Z\%$ 。每个供汽率对应一条曲线，供汽率大时，锅炉牵引力加大。当供汽率不变时，牵引力随速度的提高而降低。

由图可见，蒸汽机车三种牵引力所代表的三个主要工作部分（锅炉、汽机、粘着重量）的能力应有很好的配合。否则任一工作部分能力过低将限制整个机车的牵引力，也就是影响了其它各部分工作能力的发挥。在不同的速度范围内，蒸汽机车牵引力受到不同的限制：低速时，尽管将手把放在遮断比 ϵ 较大的位置，但汽机工作次数少，需要的蒸汽量不大，牵引

力不受锅炉供汽能力的限制，而往往受到汽缸工作能力或粘着的限制；随着机车速度提高，鞣鞣运动速度加快，作功次数增多，需要蒸汽量亦增加。若供汽率已达到最大值而手把仍在较大的遮断比位置，则因锅炉供汽不足，蒸汽压力下降，牵引力将降低。于是司机只得改变手把位置，用较小的遮断比，以与锅炉供汽相适应。可见在速度较高时，机车牵引力受锅炉工作能力的限制。这个限制是由司机操纵回动手把改变遮断比 ε 来适应的。

蒸汽机车乘务员操纵、焚火技术的提高，以及工作中互相呼应、密切配合，既可提高锅炉供汽能力，又可经济用汽，达到最大限度地提高机车牵引力的目的。

五、计算标准

在牵引计算中如何根据牵引力曲线取值，即怎样确定计算标准，有下面一些规定。

1. 粘着牵引力——计算粘着牵引力、计算粘着系数以及小半径曲线上的粘着系数修正都按第一节中所述计算。

2. 计算供汽率 Z_j ——是牵引计算中取用锅炉牵引力的依据。计算供汽率是在正常运行情况下能保证连续不断供汽的最大供汽率。对一定的机车来说，它又同所用煤的质量有关，随着煤的低发热量 Q_d 的不同而有不同的计算供汽率值。各主型蒸汽机车计算供汽率值列于表1-1中。

3. 计算遮断比 ε_j ——牵引计算时取用汽缸牵引力的依据。根据各型机车汽缸构造及牵引特性，取比设计的最大遮断比较小，且其所决定的汽缸牵引力较粘着牵引力低的遮断比作

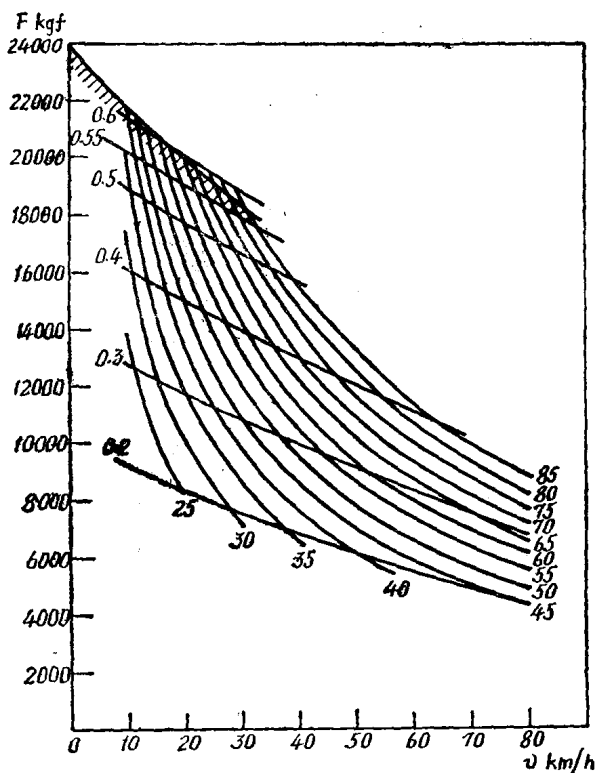


图1-4 建设型蒸汽机车牵引力曲线图

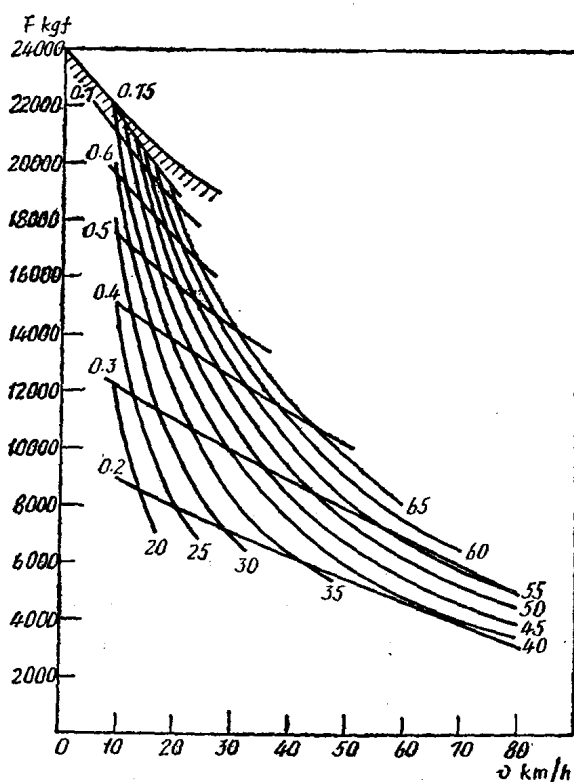


图1-5 解放型蒸汽机车牵引力曲线图

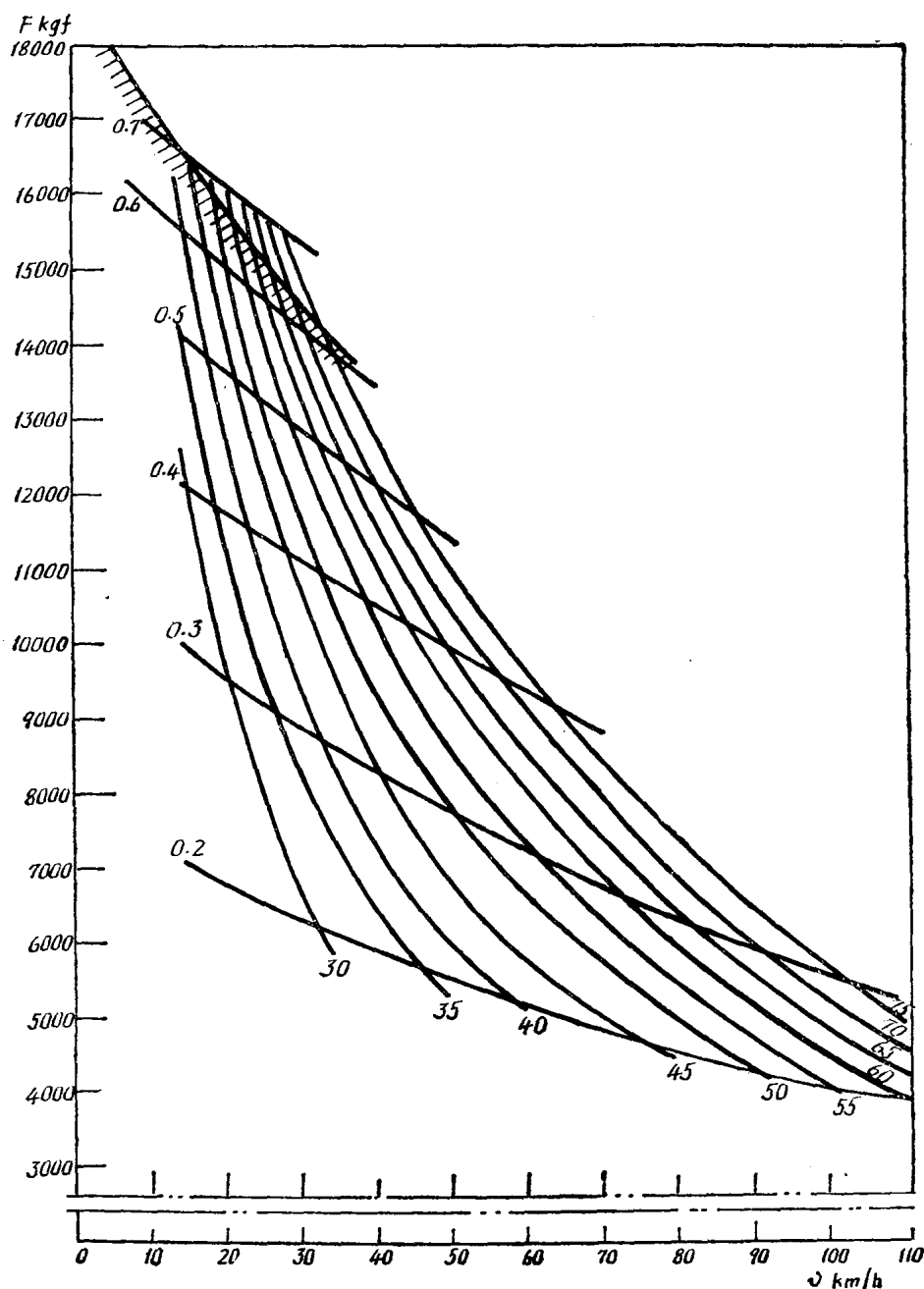


图 1—6 人民型蒸汽机车牵引力曲线图

为计算遮断比。各型机车的计算遮断比 ε_i 见表 1—1。

4. 临界速度 v_i 及临界牵引力 F_i ——取蒸汽机车计算遮断比 ε_i 所对应的汽缸牵引力曲线与计算供汽率 Z_i 所对应的锅炉牵引力曲线的交点，此交点对应的速度和牵引力就称为临界速度 v_i 和临界牵引力 F_i 。此时机车的锅炉牵引力和汽缸牵引力都得到充分的利用。在速度 $u < v_i$ 时，机车牵引力受汽缸牵引力的限制；当速度 $u > v_i$ 直到机车的构造速度 u^0 时，机车牵引力受锅炉牵引力的限制。因计算供汽率随煤质不同而有不同的数值，所以每一机车的临界速度 v_i 和临界牵引力 F_i 亦有不同的数值，见表 1—1。

5. 计算速度 u_i 与计算牵引力 F_i ——这是计算机车牵引重量的依据。蒸汽机车计算速

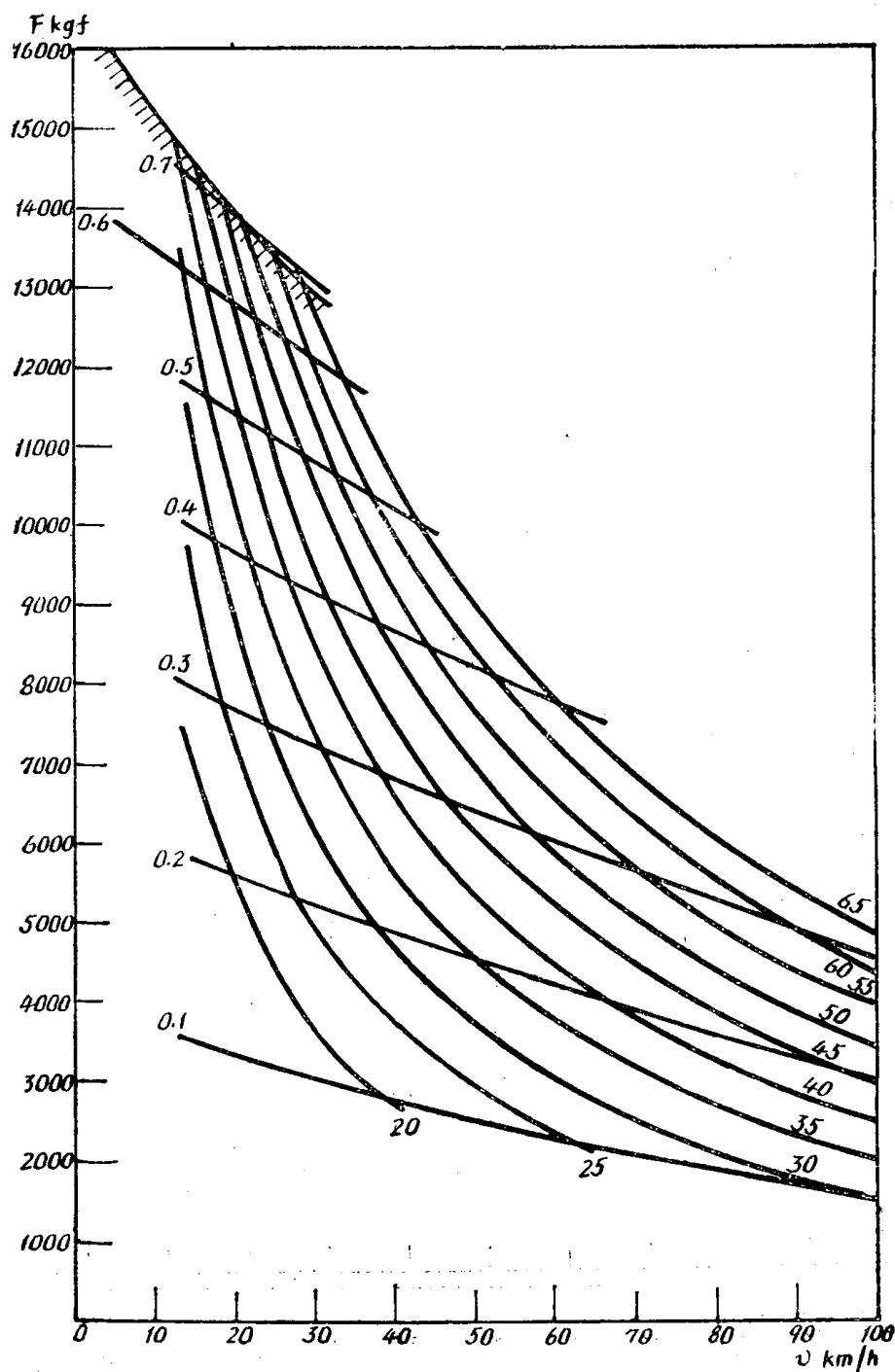


图 1—7 胜利型蒸汽机车牵引力曲线图

度及计算牵引力一般均按临界速度及临界牵引力取值。对货运蒸汽机车的计算速度允许取得再低些，以得到较大的计算牵引力，但有一定的限度，因此又规定了最低计算速度 u_{min} 及最大计算牵引力 F_{max} ，各机车之值均列于表 1—1 中。

6. 计算起动牵引力 F_q ——是按起动条件验算牵引重量的依据。列车起动时，往往是逐辆起动，当列车全部车辆都起动时，机车速度约为 2.5km/h。所以起动牵引力是按速度为 2.5km/h 时粘着牵引力下面最大的遮断比的汽缸牵引力取值的。各型机车的 F_q 值见表 1—1。

7. 牵引计算时对应不同速度牵引力的取值——牵引运行时对应各种速度，机车牵引力