

内燃机车副司机晋升司机培训教材



内燃机车牵引计算

NEIRAN JICHE QIANYIN JISUAN

金华铁路司机学校 韦强 编

中国铁道出版社

62
8

U262
028

内燃机车副司机晋升司机培训教材

内燃机车牵引计算

金华铁路司机学校 编

孙中央 主审

中国铁道出版社

2002年·北京

(京)新登字 063 号

内 容 简 介

内燃机车副司机晋升司机培训教材适用于提职司机培训,按课目分为机务规章知识、机车柴油机、内燃机车运用保养、内燃机车电传动、内燃机车牵引计算、JZ-7 型空气制动机等一套 6 本。本书为其中之一,以新版《技规》、《牵规》为依据,主要讲述了内燃机车牵引力、列车阻力和列车制动力,列车运动方程式及应用,列车牵引重量及列车制动问题的解算。

本书可供内燃机车乘务员、其他运用人员和机械学校、司机学校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

内燃机车牵引计算/韦强编. —北京:中国铁道出版社,2002.5
内燃机车副司机晋升司机培训教材
ISBN 7-113-04589-8

I. 内… II. 韦… III. 内燃机车—牵引力—计算—技术培训—教材 IV. U262.013

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 013808 号

书 名: 内燃机车副司机晋升司机培训教材
内 燃 机 车 牵 引 计 算

作 者: 金华铁路司机学校 韦强 编

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)

策划编辑: 冯慧 路电 021-73139

责任编辑: 冯慧 编辑部电话: 市电 010-51873139

封面设计: 冯龙彬

印 刷: 北京市燕山印刷厂

开 本: 787×1092 1/16 印张: 4 字数: 90 千

版 本: 2002 年 7 月第 1 版 2002 年 7 月第 1 次印刷

印 数: 1~3000 册

书 号: ISBN 7-113-04589-8/U·1284

定 价: 7.90 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。

前 言

本套培训教材是以《铁路工人技术标准 机务 内燃机车司机》(TB/T2152.5—90)为依据,结合现场实际和1999年部颁《铁路技术管理规程》、2000年部颁《机车操作规程》等新规程编写的。按课目分为《机务规章知识》、《机车柴油机》、《内燃机车运用保养》、《内燃机车电传动》、《内燃机车牵引计算》、《JZ-7型空气制动机》等6本,以东风_{4B}型内燃机车为主体,较系统地介绍内燃机车结构、原理和内燃机车运用专业知识,突出内燃机车司机必须掌握的应知应会内容,具有较高的针对性和实用性,又具有较好的系统性和连贯性,适用于内燃机车副司机晋升司机培训,可供各级教育培训中心、学校培训教学人员和机务人员参考。

本套培训教材由金华铁路司机学校主编,济南铁路局协编,闫永革、杨兆昆、孙中央主审。各分册的编写分工如下:《机务规章知识》金春发;《机车柴油机》陈跃年;《内燃机车运用保养》黄新民;《内燃机车电传动》朱建昌;《内燃机车牵引计算》韦强;《JZ-7型空气制动机》张成福、赵金武、张劲松。

在教材编写和审核过程中,得到铁道部运输局闫永革、北京铁路局杨兆昆、郑州铁路局孙中央、上海铁路局吴育玮、盛伟民等同志大力支持,在此深表谢意。

由于编者水平有限,编写时间仓促,难免有不足之处,敬请读者批评指正。

金华铁路司机学校 宣仲义

2002年3月

目 录

第一章 内燃机车牵引力	1
第一节 内燃机车牵引力的产生及牵引力的几个概念	1
第二节 粘着牵引力	2
第三节 内燃机车特性	4
第四节 机车牵引力的计算标准及取值规定	7
第二章 列车阻力	10
第一节 概 述	10
第二节 基本阻力	10
第三节 附加阻力	13
第四节 列车阻力的计算	14
第三章 列车制动力	16
第一节 概 述	16
第二节 制动力的产生及限制	16
第三节 闸瓦摩擦系数和闸瓦压力	17
第四节 列车制动力计算	20
第四章 列车运动方程式及其应用	29
第一节 作用于列车上的合力	29
第二节 列车运动方程式及其应用	29
第五章 牵引重量的计算	32
第一节 概 述	32
第二节 计算坡道上牵引重量的计算	32
第三节 列车在平直道上以最高速度运行仍有加速度 a 时牵引重量的计算	34
第四节 牵引重量的校验	34
第五节 牵引定数的确定	37
第六章 列车制动距离的计算	38
第一节 制动距离概念	38
第二节 制动空走时间、制动有效时间及制动空走距离	38
第三节 制动有效距离及列车制动距离的计算	39
第四节 制动有效距离的简化计算	41
第五节 列车制动限速	41
附表 各型内燃机车牵引计算主要数据表	45
参考文献	55

第一章 内燃机车牵引力

第一节 内燃机车牵引力的产生及牵引力的几个概念

一、内燃机车牵引力的产生过程

柴油机产生的扭矩通过输出轴,传动装置,最后使机车动轮获得扭矩 M 。在扭矩 M 的作用下,动轮产生绕轮心的转动。但是,机车动轮由于轴重紧压在钢轨上,接触点的粘着作用阻止了动轮与钢轨接触点的相对移动,动轮便以切线力 F_1 ($F_1 = M/R$) 作用于钢轨,如图 1-1(a) 所示。

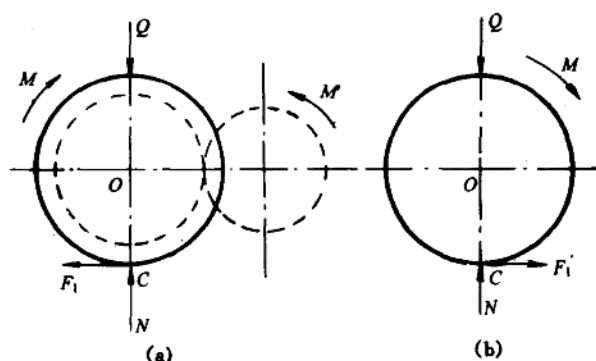


图 1-1 内燃机车牵引力形成示意图

设轮轨间的计算粘着系数为 μ_j , 动轮轴重为 Q_g (kN), 则轮轨间阻止接触点相对移动的能力为 $\mu_j Q_g$ 。只要动轮作用于钢轨的力 F_1 不大于 $\mu_j Q_g$, 根据作用与反作用定律, 钢轨也必然给动轮一个与 F_1 大小相等, 方向相反的反作用力 F'_1 , 如图 1-1(b) 所示。对机车来说, F'_1 是来自钢轨的外力, 并且总是与机车运行方向相同, 称为机车牵引力。

动轮对钢轨的切线力 F_1 是由司机控制和调节的内力, 力 F'_1 正是内力 F_1 通过轮轨间的粘着条件而得到的外力。

一台机车的牵引力为

$$F = mF'_1 \quad (1-1)$$

式中 m ——机车动轴数;

F'_1 ——一个动轴的牵引力, kN。

二、内燃机车牵引力的几个概念

(一) 按照机车变能部分的能力得到的几个牵引力概念

内燃机车牵引力的形成必须经过三个变能阶段来实现:

柴油机将燃油的化学能变为机械能;

传动装置将机械能变为机车动轮周的内机械功;

依靠轮轨间的粘着条件,将动轮周的内机械功转化为牵引力的外功。

考虑到上述三个环节的相互限制关系,相应地有几个牵引力的概念。

1. 柴油机牵引力:受柴油机工作能力限制的轮周牵引力。

2. 传动装置牵引力:受传动装置工作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。

机车牵引力受到上述三者中能力最小者的限制。

(二)按照机械功传递过程中着力点得到的几个牵引力概念

1. 指示牵引力 F_i :即假定气缸中燃气对活塞所做的机械功,毫无损失地传到动轮周所得到的牵引力。 F_i 可由测定柴油机气缸中的指示功通过计算得到。

2. 轮周牵引力 F :柴油机所作的功减去辅助装置、传动装置、驱动装置消耗的机械功,实际传到动轮周所得到的牵引力。即钢轨对动轮的反作用力。它是个假想的概念,只在机车设计时有用。

3. 车钩牵引力 F_g :轮周牵引力减去机车运行阻力,为实际作用在机车车钩上的牵引力,在等速运行时

$$F_g = F - W' \quad (\text{kN}) \quad (1-2)$$

式中 W' ——机车总阻力, kN。

第二节 粘着牵引力

一、粘着定律

前已述及,轮周牵引力是钢轨对动轮的反作用力,它的大小由司机改变主手柄位置来实现。另一方面,轮周牵引力是一个静摩擦力,这个静摩擦力的大小,一方面由作用于机车动轮的外力来决定,另一方面,则由轮轨间的粘着条件来决定。

当主手柄提升时,动轮作用于钢轨的力 F_1 逐渐增大,如图1-2所示,则钢轨对动轮的反作用力 F'_1 也随之增大 ($F_1 = F'_1, F_2 = F'_2, \dots$),这时,因轮轨间无相对滑动,车轮仍正常向前滚动。当 F_1 增大到超过粘着力极限值 $F_{\mu\max}$ 时,轮轨间的粘着被破坏,动轮因无足够的水平支承力,就开始在钢轨上滑动,造成动轮空转。这时,钢轨对车轮的反作用力 F'_1 也因由静摩擦力变为动摩擦力而急剧下降,使得动轮空转加速。这个阻止动轮对钢轨作相对滑动的静摩擦力的极限值,就称为粘着牵引力,简称粘着力。机车粘着牵引力 F_μ 可用下式表达

$$F_\mu = P_\mu g \mu_j$$

式中 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, $g \approx 9.81 \text{ m/s}^2$ 。

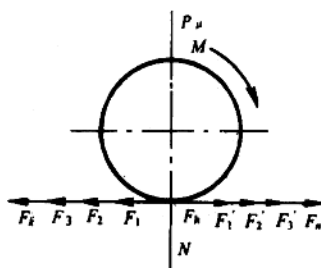


图 1-2 车轮空转形成示意图

若不减少动轮对钢轨的作用力,可能使动轮得来的全部能量完全消耗在原地空转上。这样,不仅使机车丧失牵引力,还可能造成传动装置及走行部的损坏,并使钢轨与车轮踏面擦伤。所以,在运行中,一旦发生空转,必须降低主手柄的位置,待空转停止后,再行撒砂。

二、粘着系数

粘着系数与动轮和钢轨的材质、硬度、弹性、接触面形状及状态等多种因素有关。当机车粘着重量确定后,粘着力就随着粘着系数的变化而变化。机车在运行中,由于以下因素,使粘着力发生变化。

1. 机车在运行中,由于弹簧的振动、动轴载荷的不均和变化,线路路基的状态和坡道的大小等原因,均会使粘着重量发生变化。

2. 机车在运行中出现的蛇行运动、沉浮运动、摇头振动、侧滚运动,动轮踏面与轨面的接触状态,各动轮间直径的大小差异使轮轨间发生某种程度的滑动,都会使粘着系数发生变化。

3. 机车速度对粘着系数有较大影响。速度增高时,轮轨间滑动相对增加,机车振动作用也相应增加使粘着系数下降。

考虑上述各种实际因素,在实用计算中,引入计算粘着系数,其值可根据专门试验来确定。计算粘着系数的值一般小于理论粘着系数的值。对国产各型电传动内燃机车,《牵规》* 规定按下式计算

$$\mu_j = 0.248 + 5.9 / (75 + 20 v) \quad (1-3)$$

ND₅ 型内燃机车

$$\mu_j = 0.242 + 72 / (800 + 11 v) \quad (1-4)$$

按上述公式计算的不同运行速度时的计算粘着系数如表 1-1 所示。

表 1-1 内燃机车不同运行速度下的计算粘着系数

机 型 \ 速度 (km/h)	0	10	20	30	40	50	60
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 内燃机车	0.332	0.321	0.313	0.306	0.300	0.295	0.291

内燃机车在曲线半径 R 小于 550 m 的线路上运行时,其计算粘着系数有所下降,按下式计算

$$\mu_r = \mu_j (0.805 + 0.000355R) \quad (1-5)$$

由于 $F_\mu = f(v)$, 可根据计算粘着牵引力公式计算出各速度下的机车计算粘着牵引力值 F_μ , 并绘制出粘着牵引力曲线。

三、提高粘着牵引力的方法

1. 经常保持机车有良好的状态,各轴荷重均匀,横动量符合标准,加强轮对保养,防止车

* 本书引用的《牵规》均为 1998 年发布的新《牵规》内容(TB/T 1407—1998)。

轮踏面擦伤。

2. 机车走行部要清洁,防止润滑油脂滴到车轮踏面和轨面上,并经常注意清除踏面上的油垢。

3. 挂车前及运行到易空转地段或遇到轨面潮湿油污时,应适当撒砂,防止空转。

4. 加装和正确使用防空转系统。

第三节 内燃机车特性

内燃机车特性,包括牵引特性、功率特性、机车效率。

1. 牵引特性

内燃机车的牵引特性,是指机车牵引力与速度的关系,即 $F = f(v)$ 。

内燃机车按照其变能部分的能力,分为柴油机牵引力、传动装置牵引力和粘着牵引力,但传动装置的功率来源于柴油机,柴油机的功率必须通过传动装置才能在动轮周形成牵引力,两者不能分开。机车的牵引特性,就是粘着牵引力和柴油机牵引力或传动装置牵引力与速度的关系。

各型机车牵引特性曲线可以根据设计资料按照公式计算而绘制,叫预测牵引力曲线,但实际牵引特性曲线必须经过牵引运行试验得到,叫实测牵引特性曲线。图 1-3 至图 1-11 分别为各型内燃机车牵引特性试验曲线。

利用牵引特性曲线不仅可以用来查取各速度的牵引力,还可以根据克服阻力所需的牵引力选取合适的主手柄位置。同时,可以用来判定和比较不同型机车的牵引性能。

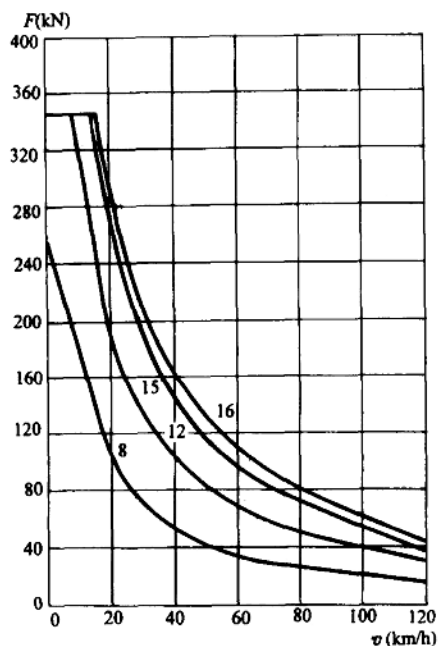


图 1-3 DF₄(客)型内燃机车牵引特性曲线图

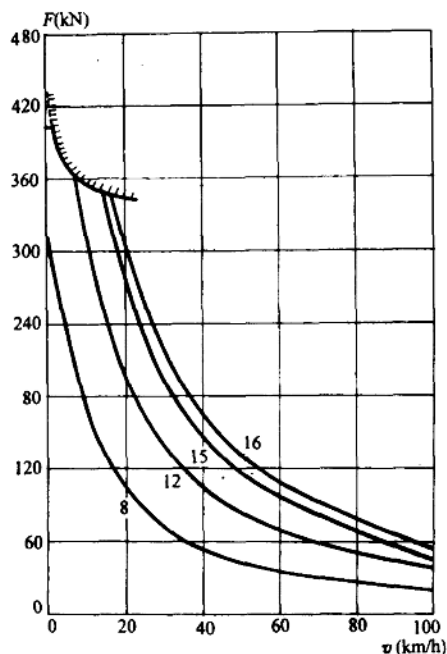


图 1-4 DF₄(货)型内燃机车牵引特性曲线图

2. 功率特性

内燃机车功率特性,表示机车轮周功率随速度变化的规律。轮周功率根据牵引特性曲线按照下式进行计算

$$N_k = F_v \times 1\,000 / 3\,600 = F_v / 3.6 \quad (\text{kW}) \quad (1-6)$$

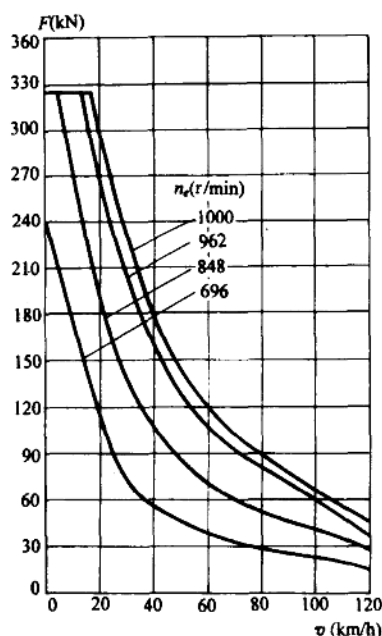


图 1-5 DF_{4B}(客)型内燃机车牵引特性曲线图

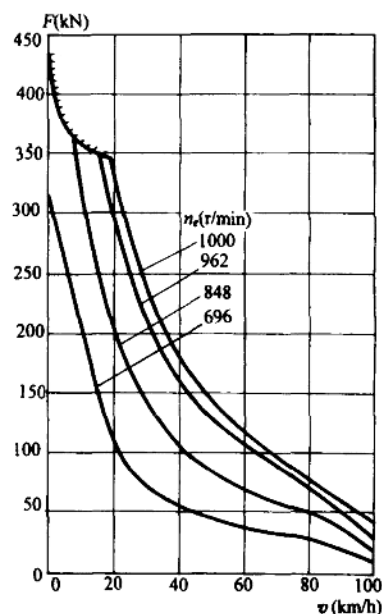


图 1-6 DF_{4B}(货)型内燃机车牵引特性曲线图

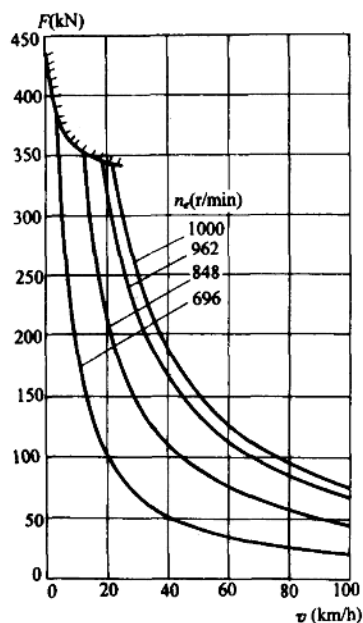


图 1-7 DF_{4C}(货)型内燃机车牵引特性曲线图

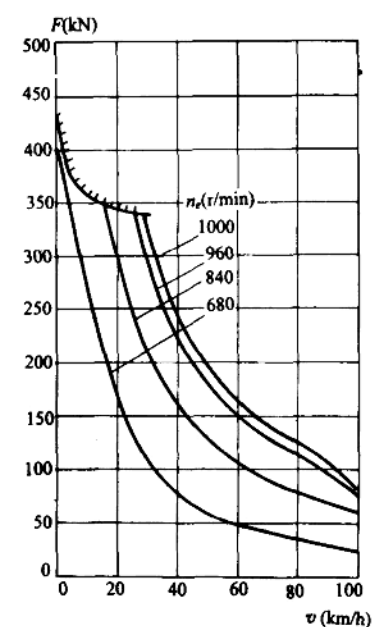


图 1-8 DF₈型内燃机车牵引特性曲线图

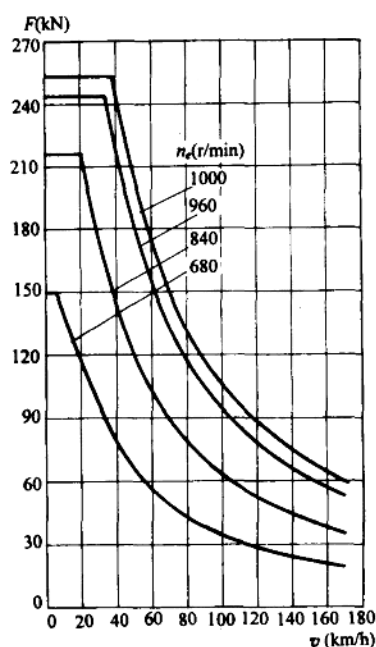


图 1-9 DF₁₁型内燃机车牵引特性曲线图

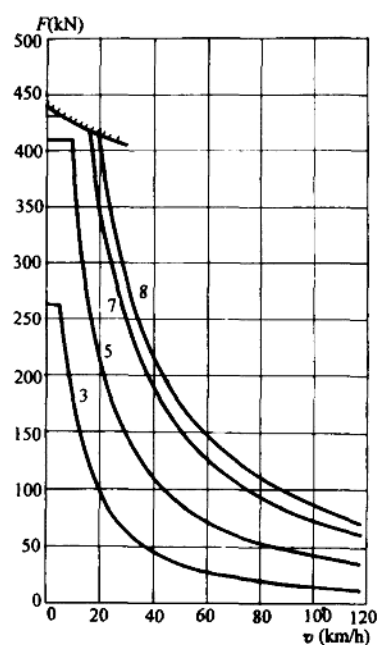


图 1-10 ND₅型内燃机车牵引特性曲线图

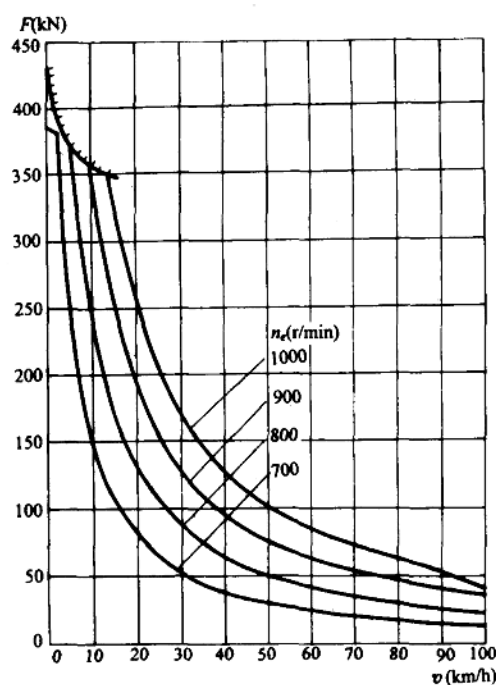


图 1-11 DF_{7D}型内燃机车牵引特性曲线图(单机)

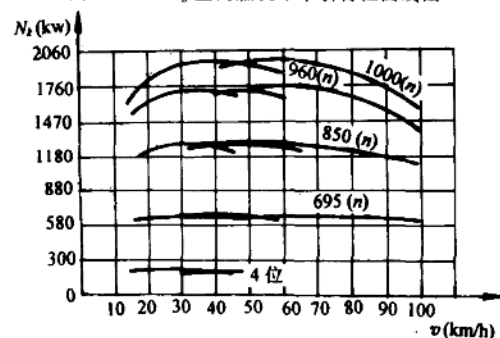


图 1-12 东风₄型机车轮周功率与机车速度关系曲线

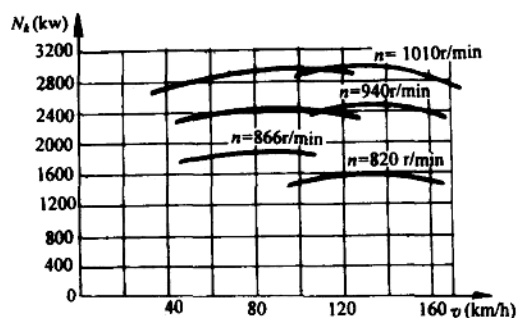


图 1-13 东风₁₁型机车轮周功率与机车速度关系曲线

DF₄、DF₁₁型机车轮周功率特性曲线 $N_k = f(v)$ 如图 1-12、图 1-13 所示。

利用功率特性曲线,可以确定机车各速度下的功率及机车充分发挥功率的速度范围。

DF₄ 型机车最大功率为1 831 kW,高功率的速度范围为30~70 km/h;DF₁₁型机车最大功率为2 994 kW,高功率的速度范围为60~160 km/h。说明 DF₁₁ 比 DF₄ 型机车具有更好的多拉快跑性能。

3. 机车效率

在机车轮周上得到的有效功率的热当量与所消耗的燃油低热值的比值,称为机车轮周效率。

$$\eta_l = \frac{3\,600 N_k}{G_e Q_d} \times 100\% \quad (1-7)$$

式中 3 600——每千瓦小时功的热当量,kJ/(kW·h);

N_k ——机车轮周功率,kW;

G_e ——机车每小时燃油消耗量,kg;

Q_d ——燃油的低发热量,kJ/kg。

机车轮周功率 N_k 与柴油机转速、机车速度有关,不同柴油机转速及不同速度的机车效率不同。图 1-14 为 DF₄(货)型机车效率曲线 $\eta_l = f(n, v)$ 。

从图 1-14 看出,DF₄(货)型机车效率曲线变化平缓,速度在30~90 km/h范围内, η_l 值始终保持在 31% 左右,高效的工作范围宽。

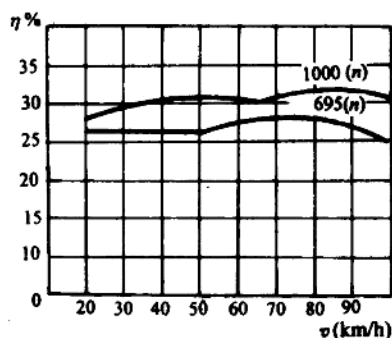


图 1-14 DF₄(货)型机车总效率曲线

第四节 机车牵引力的计算标准及取值规定

一、内燃机车的几个牵引计算标准

1. 持续电流、持续速度、持续牵引力

电传动内燃机车在额定条件下,电机长时间运转,各部温升接近而不超过温升标准的电流,称为持续电流。

在额定条件下,由持续电流决定的电机转速换算的机车速度,称为持续速度 v_c 。液力传动内燃机车的持续速度是按传动油的发热与散热平衡来决定的,其持续速度是指在额定条件下,其冷却装置的能力所能容许的持续运行的最低速度。

在牵引特性图上,对应于持续速度的最高手柄位(柴油机转速)的牵引力,称为持续牵引力 F_c 。

2. 计算速度和计算牵引力

计算速度 v_j : 计算机车牵引重量所依据的速度。

计算牵引力 F_j : 在牵引特性图上,与计算速度相对应的最高手柄的牵引力。

在限制坡道上,内燃机车由于受电机温升或液力传动工作油温升的限制,其最低计算速度不得低于持续速度, $v_j \geq v_c$ 。即最低计算速度 v_{jmin} 等于持续速度 v_c ($v_{jmin} = v_c$)。与最低计算速度相对应的牵引力,叫最大计算牵引力 F_{jmax} ($F_{jmax} = F_c$)。表 1-2 为各型机车的最低计算速度及最大计算牵引力。

考虑乘务员的工作条件,《牵规》规定,内燃机车通过长度 1 000 m 以上隧道的最低运行速度不得低于 $v_{jmin} + 5$ km/h。

3. 计算起动牵引力

起动牵引力是在起动条件下机车所能发挥的最大牵引力,用以计算起动牵引重量。《规程》规定的机车起动牵引力是根据限制条件计算或经过专门试验确定的,称为计算起动牵引力。多数货运机车的计算起动牵引力都是受粘着条件的限制。客运机车则基本上受起动电流的限制。各型机车的计算起动牵引力见表 1-3。

表 1-2 内燃机车的最低计算速度及最大计算牵引力

机 型	最低计算速度 v_{jmin} (km/h)	最大计算牵引力 F_{jmax} (kN)
DF	18.0	190.3
DF ₄ (货)	20.0	302.1
DF ₄ (客)	24.0	251.6
DF _{4B} (货)	21.8	313.0
DF _{4B} (客)	29.0	235.2
DF _{4C} (货)	24.5	301.5
DF ₈	31.2	307.3
DF ₁₁	65.6	160.0
DF _{7D}	16.0	2 × 308.7
ND ₅	22.2	360.0
ND ₂	25.2	155.7
DFH ₃	30.0	157.0

表 1-3 内燃机车的计算起动牵引力

机 型	计算起动牵引力 F_q (kN)	限制条件
DF	301.2	起动电流
DF ₄ (货)	401.7	起动电流
DF ₄ (客)	346.3	起动电流
DF _{4B} (货)	442.2	粘着
DF _{4B} (客)	325.3	起动电流
DF _{4C} (货)	442.2	粘着
DF ₈	442.2	粘着
DF ₁₁	253.0	起动电流
DF _{7D}	2 × 429.3	起动电流
ND ₅	439.7	粘着
ND ₂	265.0	起动电流
DFH ₃	254.0	变扭器转矩

二、内燃机车牵引力的修正

内燃机车牵引力数值是在标准大气压下(大气压力 101.3 kPa、环境温度 20 ℃、相对湿度 60%)试验得出的。当内燃机车运行在海拔较高、环境湿度较高的地区时,因大气的密度减小,机车牵引力都有所下降。而机车在长隧道内运行时,柴油机的工作条件也较差。在这些情况下,必须对给出的机车的牵引力进行修正。修正后的牵引力 F_x 按下式计算

$$F_x = F \lambda_p \lambda_h \lambda_s \quad (1-8)$$

式中 λ_p ——海拔修正系数,列于表 1-4;

λ_h ——周围空气温度修正系数,列于表 1-5;

λ_s ——隧道影响修正系数。

海拔修正系数(λ_p)和环境温度修正系数见表 1-4 和表 1-5。

表 1-4 内燃机车牵引力海拔修正系数 λ_p

海拔高度 $H(m)$	500	1 000	1 500	2 000	2 500	3 000	3 500	4 000
大气压力 $P_h(kPa)$	95.23	89.64	84.32	79.40	74.61	70.22	65.97	62.85
DF	1.000	1.000	0.912	0.886	0.861	—	—	—
DF ₄ (货、客)	1.000	0.933	0.855	0.780	0.707	0.638	0.569	0.503
DF _{4B}	45GP802—A 增压器	1.000	0.940	0.880	—	—	—	—
(货、客)	ZN310 增压器	—	—	0.885	0.823	0.758	0.697	0.634

表 1-5 内燃机车牵引力周围空气温度修正系数 λ_t

周围空气温度 $t_n(^{\circ}\text{C})$	30	32	34	36	38	40
DF	1.000	0.978	0.975	0.971	0.968	0.964
DF ₄ (货、客)	1.000	0.985	0.958	0.930	0.904	0.877
DF _{4B} (货、客)	1.000	0.982	0.952	0.921	0.892	0.864
DF _{4C} (货)	1.000	0.987	0.954	0.920	0.886	0.853
DF ₈ 及 DF ₁₁	1.000	0.984	0.950	0.913	0.877	0.841

DF_{4B}(货、客)型内燃机车受长度 1 000 m 以上隧道影响的牵引力修正数 λ_s , 单机或双机牵引的第一台机车取 0.88, 双机重联的第二台机车取 0.85。其他机型隧道影响牵引力的修正系数可根据试验确定。

《牵规》规定:DF₄(货、客)型、DF_{4B}(货、客)型、DF_{4C}(货)型、DF₈ 型及 DF₁₁型内燃机车,在周围空气温度不高于 30 $^{\circ}\text{C}$ 的地区运用时,机车牵引力不予修正。DF₄(货、客)型和 DF_{4B}(货、客)型内燃机车,在海拔不超过 500 m 的地区运用时,机车牵引力不予修正。

三、多机牵引时牵引力取值的规定

内燃机车多机牵引使用重联线操纵时,因操纵动作协调,每台机车牵引力均取全值;分别操纵时,协调性较差,第二台及其以后的每台机车牵引力均取全值的 0.98,推送的补机与头部牵引的机车不易实现同步操纵,牵引力取全值的 0.95。

四、牵引力使用系数

为了在运用中对机车功率使用留有余地,避免由于长时间超负荷运转而降低机车使用寿命,《牵规》规定了“牵引力使用系数”的内容。规定对各型机车,凡取用最高负荷各速度的牵引力计算列车最大合力、绘制最大合力线图或进行其他计算时,均应乘以牵引力使用系数 λ_y ,即实际使用的最大牵引力为

$$F_y = F\lambda_y \quad (1-9)$$

并且规定 λ_y 取为 0.9。

按列车在平直上运行时仍有加速度的原则计算牵引重量时,其最高速度的牵引力不乘以牵引力使用系数。当计算较平缓地段的运行时分时,为了避免频繁交替地变换牵引和惰行工况,也可以取用部分负荷的牵引力,如果较高部分负荷的牵引力大于最高负荷牵引力与牵引力使用系数的乘积 F_y 时,按 F_y 取值。

第二章 列车阻力

第一节 概 述

列车阻力是阻碍列车运动的不能控制的外力。

按产生原因,列车阻力分为基本阻力和附加阻力。

1. 基本阻力——列车在任何条件下起动或运行都发生的阻力。

2. 附加阻力——在特殊条件下产生的列车阻力。如列车在坡道上运行时,有坡道附加阻力;在曲线上运行时,有曲线附加阻力;在隧道内运行时,有隧道附加阻力。

基本阻力与附加阻力之和,称为列车全阻力。

按作用范围,列车阻力又分为总阻力和单位阻力。

1. 总阻力——作用在机车、车辆或列车全部重量上的阻力,分别称为机车、车辆或列车总阻力,用大写“ W ”表示。单位是 kN 。

2. 单位阻力——平均到每千牛机车、车辆或列车重力上的阻力,则分别称为机车、车辆或列车单位阻力,用小写“ w ”表示,单位是 N/kN 。

第二节 基本阻力

基本阻力可分为运行基本阻力和起动基本阻力。

一、运行基本阻力分析

引起运行基本阻力的主要原因有:

1. 轴承的摩擦阻力

影响这部分阻力的因素有:润滑油的粘度、环境温度、轴荷重、轴承类型及运行速度等。

2. 车轮与钢轨间的滚动摩擦阻力

车轮与钢轨都不是绝对不变形的刚体,车轮以很大重量压在钢轨上时,轨面将会凹入少许,当车轮向前滚动时,就产生了滚动摩擦阻力。影响滚动摩擦阻力因素有:线路质量、轴重、钢轨型号及运行速度等。

3. 车轮与钢轨间的滑动摩擦阻力

引起滑动摩擦的主要原因有:车轮踏面为锥形,因此车轮与钢轨表面各接触点的直径不等;同轴两侧的车轮直径不相等,或轮对的组装不正确;列车的蛇形运动。

4. 冲击和振动引起的阻力

列车运行时,钢轨表面不平、线路变形、轨头接缝等造成冲击和振动。

5. 空气阻力

列车运行时,正面空气被压缩,尾部形成局部真空和涡流,列车侧面与空气的摩擦以及与列车空气层之间的摩擦等,这些都成为列车运行的阻力,即空气阻力。

空气阻力与列车最大截面积、空气密度、列车表面形状有关,与相对速度的平方成正比。

上述五种因素随着列车速度的高低所占的比例有所变化。起动时,几乎没有空气阻力,以轴承的摩擦阻力和轮轨间的滚动摩擦阻力为主;随着速度的提高,轮轨间的滑动摩擦、冲击振动和空气阻力所占的比重逐渐加大;高速运行时,基本阻力则以空气阻力为主。

二、起动基本阻力分析

起动基本阻力产生的原因和影响因素主要有以下几个方面:

1. 机车车辆长时间停留后轴箱温度降低,油脂粘度增大。
2. 车辆长时间停留后,轴温降低,润滑油粘度加大,故摩擦阻力也增大。
3. 列车长时间停留,在轴荷重的作用下,使轮轨接触处发生较大的变形增加轮轨间的滚动摩擦阻力。
4. 列车起动时,由静态转变到动态,要有一定的加速力克服列车的惯性,产生加速阻力。

三、计算基本阻力的经验公式

《牵规》规定的计算机车辆单位基本阻力的试验公式如下:

(一)单位运行基本阻力

1. 机车单位运行基本阻力

DF 型

$$w'_0 = 2.93 + 0.0073 v + 0.000271 v^2 \quad (2-1)$$

DF₄ 型(货、客)、DF_{4B}型(货、客)、DF_{4C}型(货)、DF_{7D}型

$$w'_0 = 2.28 + 0.0293 v + 0.000178 v^2 \quad (2-2)$$

DF₈ 型

$$w'_0 = 2.40 + 0.0022 v + 0.000391 v^2 \quad (2-3)$$

DF₁₁型

$$w'_0 = 0.86 + 0.0054 v + 0.000218 v^2 \quad (2-4)$$

ND₅ 型

$$w'_0 = 1.31 + 0.0167 v + 0.000391 v^2 \quad (2-5)$$

ND₂ 型

$$w'_0 = 2.98 + 0.0202 v + 0.000033 v^2 \quad (2-6)$$

DFH₃ 型

$$w'_0 = 1.96 + 0.0105 v + 0.000549 v^2 \quad (2-7)$$

表 2-1 各型 DF₄ 内燃机车运行单位基本阻力值

$v(\text{km/h})$	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
w'_0	2.59	2.94	3.32	3.74	4.19	4.68	5.20	5.76	6.36	6.99	7.66	8.36

2. 客车单位运行基本阻力

21、22 型客车 ($v_{\max} = 120 \text{ km/h}$)

$$w''_0 = 1.66 + 0.0075 v + 0.000155 v^2 \quad (2-8)$$

25B、25G 型客车 ($v_{\max} = 140 \text{ km/h}$)

$$w_0'' = 1.82 + 0.010 \, 0 \, v + 0.000 \, 145 \, v^2 \quad (2-9)$$

160 km/h 单层客车

$$w_0'' = 1.61 + 0.004 \, 0 \, v + 0.000 \, 187 \, v^2 \quad (2-10)$$

160 km/h 双层客车

$$w_0'' = 1.24 + 0.003 \, 5 \, v + 0.000 \, 157 \, v^2 \quad (2-11)$$

表 2-2 各型客车单位运行基本阻力值(N/kN)

类 别		速度(km/h)						10	20	30	40	50
		计 算 公 式										
21、22 型		$w_0'' = 1.66 + 0.007 \, 5 \, v + 0.000 \, 155 \, v^2$						1.75	1.87	2.02	2.21	2.42
25G、25B 型		$w_0'' = 1.82 + 0.010 \, 0 \, v + 0.000 \, 145 \, v^2$						1.93	2.08	2.25	2.45	2.68
160 km/h	单层	$w_0'' = 1.61 + 0.004 \, 0 \, v + 0.000 \, 187 \, v^2$						1.67	1.76	1.90	2.07	2.28
	双层	$w_0'' = 1.24 + 0.003 \, 5 \, v + 0.000 \, 157 \, v^2$						1.29	1.37	1.49	1.63	1.81
速度(km/h) 类别		60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160
21、22 型		2.67	2.94	3.25	3.59	3.96	4.36	4.79	—	—	—	—
25G、25B 型		2.94	3.23	3.55	3.89	4.27	4.67	5.11	5.57	6.06	—	—
160 km/h	单层	2.52	2.81	3.13	3.48	3.88	4.30	4.78	5.29	5.84	6.42	7.04
	双层	2.02	2.25	2.52	2.83	3.16	3.52	3.92	4.35	4.81	5.30	5.82

3. 货车单位运行基本阻力经验公式

空货车

$$w_0'' = 2.23 + 0.005 \, 3 \, v + 0.000 \, 675 \, v^2 \quad (2-12)$$

重货车

$$\text{滚动轴承货车} \quad w_0'' = 0.92 + 0.004 \, 8 \, v + 0.000 \, 125 \, v^2 \quad (2-13)$$

$$\text{油罐专列} \quad w_0'' = 0.53 + 0.012 \, 1 \, v + 0.000 \, 080 \, v^2 \quad (2-14)$$

表 2-3 各型货车运行单位基本阻力值(N/kN)

速度(km/h) 类别		10	20	30	40	50	60	70	80	90
空车		2.35	2.61	3.00	3.52	4.18	4.98	5.91	6.97	8.17
重车	滚动轴承	0.98	1.07	1.18	1.31	1.47	1.66	1.87	2.10	2.36
	油罐专列	0.66	0.80	0.97	1.14	1.34	1.54	1.77	2.01	2.27

(二) 计算单位起动基本阻力的经验公式

1. 机车单位起动基本阻力

《牵规》规定,内燃机车的起动单位阻力 w_q' 按 5 N/kN 计算。

2. 货车单位起动阻力

《牵规》规定,滚动轴承货车的单位起动基本阻力 w_q'' 取 3.5 N/kN。