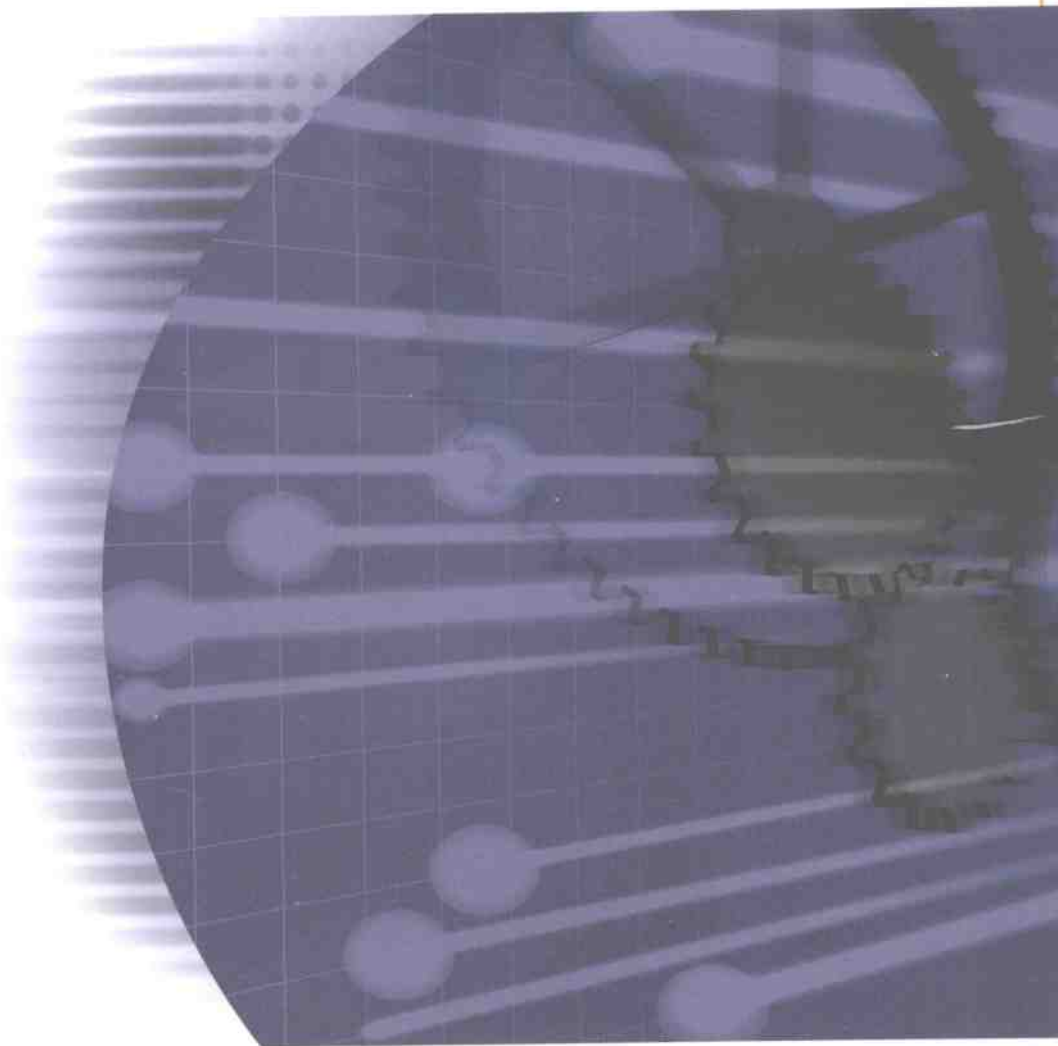


● 铁路中等职业学校职工学历教育试用教材

内燃机车牵引及运用

哈尔滨铁路局教育处组织编写

NEIRANJICHUANTRASHIYUNYONG



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

铁路中等职业学校职工学历教育试用教材

内燃机车牵引及运用

齐齐哈尔铁路高级司机学校

迟卓刚 崔建伟 主编

李毓敏 主审

中国铁道出版社

2009年·北京

内 容 简 介

本套教材是为铁路职工进行学历教育而编写的。全书以东风_{4B}型内燃机车为主讲解,共分十三章,主要内容包括内燃机车牵引力、列车运行阻力、列车制动力、列车运动方程式及应用、列车运行时间和距离的计算、牵引重量及制动距离的计算、机车运用知识、机车操纵、防火及防寒、部件的保养及机车运行安全设备等知识。

本书是根据《列车牵引计算规程》和《机车操作规程》编写的,同时为了适应铁路发展的需要,对新技术、新设备进行了阐述。为了便于学生学习,根据学员的文化层次,对书中比较复杂的公式推导及理论性较强的知识作了删节。

本书是职工学历教育教材,也可以作为复退军人非学历教育培训、一年环流培训、岗位达标以及岗位规范化培训、复退军人入校学习的教学用书,并可供铁路工程技术人员、职工学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

内燃机车牵引及运用/迟卓刚,崔建伟主编. —北京:
中国铁道出版社,2003.8(2009.8重印)

铁路中等职业学校职工学历教育试用教材

ISBN 978-7-113-05400-7

I. 内… II. ①迟…②崔… III. 内燃机车—专业学校—教材 IV. U262

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 069355 号

书 名:内燃机车牵引及运用

作 者:迟卓刚 崔建伟 主编

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)

责任编辑:金 锋

封面设计:蔡 涛

印 刷:三河市华丰印刷厂

开 本:787×1092 1/16 印张:9 字数:216 千

版 本:2003 年 8 月第 1 版 2009 年 8 月第 2 次印刷

印 数:5 001 ~ 7 000 册

书 号:ISBN 978-7-113-05400-7/U·1535

定 价:13.80 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)51873134 发行部电话:(010)51873171

★ ★ ★ 前 言

为了适应铁路运输生产的需要,保证铁路职工队伍整体素质的提高,根据铁道部和铁路局对职工岗位达标及复退军人培训工作的要求,依据铁路中等职业学校有关专业教学计划的要求,从铁路职工学历教学入学的实际水平和状况出发,我们组织编写了适用于职工学历教育及复退军人入校学习的部分专业教材,并将陆续出版发行。

本套教材是根据《铁路运输技工学校教学计划》和《铁路职工技能鉴定指导丛书》的要求及各专业教学实际,结合铁路运输生产中的新技术、新材料、新工艺、新设备、新规章的运用进行编写的,为铁路职业学校开展职工学历教育提供适用、客观、科学、规范的教材,为学校授课提供依据,从而保证教学质量。

本套教材由哈尔滨铁路局教育处经过两年多的时间组织编写,在编写过程中我们根据目前铁路职工学历教育办学特点,结合近几年来铁路局所属成人中专及技工学校承担在职职工岗位学历达标及接受大量的复退军人上岗培训的教学实际,组织了长期从事教学、具有丰富教学经验和有一定的教改实践经历的专业教师担任教材的主编,由局内其他学校承担协编和审稿任务。为确保教材质量,我们还将部分教材送其他铁路局进行了审稿。

本套教材坚持理论与实际相结合,与过去已出版的中专教材相比,内容上减少了理论教学,加大实作应用,突出技能水平,语言上力求通俗易懂、言简意赅,具有较强的针对性。

本教材由齐齐哈尔铁路高级司机学校迟卓刚、崔建伟主编,李毓敏主审。加格达奇铁路运输技工学校邹德明、邱玉富、谭秀兰审稿,参加本书编写的人员有迟卓刚、崔建伟、吴荣琦、谢树起、刘可欣、李望东、冯晓东等。李斌、梁中盛、张锁山、谭秀兰等对本教材的修改工作提出了许多宝贵意见,在此表示衷心感谢。

鉴于铁路改革和技术的发展,本教材难免有不足之处,欢迎读者提出宝贵意见。

哈尔滨铁路局教育处

2003年1月

目 录★ ★ ★

绪 论	1
第一章 内燃机车牵引力	3
第一节 内燃机车牵引力的产生过程	3
第二节 内燃机车牵引力的几个概念	4
第三节 粘着牵引力	5
第四节 柴油机及传动装置牵引力	7
第五节 内燃机车牵引特性、功率特性、效率特性及牵引计算标准	10
复习思考题	15
第二章 列车运行阻力	16
第一节 列车阻力的分类	16
第二节 基本阻力	16
第三节 附加阻力	20
第四节 起动阻力	23
第五节 列车阻力的计算	24
复习思考题	25
第三章 列车制动力	26
第一节 列车制动力概述	26
第二节 列车制动力的产生过程及粘着限制	27
第三节 闸瓦摩擦系数和闸瓦压力	27
第四节 列车制动力的计算	30
复习思考题	35
第四章 列车运动方程式及其应用	36
第一节 作用在列车上的合力	36
第二节 合力图及其应用	37
第三节 列车运动方程式及其应用	42
复习思考题	44
第五章 列车运行时间和距离的计算	45
第一节 分析法	45
第二节 图解法	48
复习思考题	50
第六章 列车制动距离的计算	51
第一节 制动距离概述	51
第二节 制动距离的计算	51
第三节 有效制动距离计算方法的简化	54
复习思考题	57

第七章 牵引重量及燃油消耗量的计算	58
第一节 牵引重量的限制因素	58
第二节 限制坡道上牵引重量的计算	58
第三节 列车在空旷平直道上以最高速度运行仍有加速度时牵引重量的计算	59
第四节 动能坡道上牵引重量的计算	60
第五节 牵引重量的校验	62
第六节 牵引定数的确定	65
第七节 燃油消耗量的计算	66
复习思考题	69
第八章 机车运用知识	70
第一节 机车交路及机车运转制	70
第二节 乘务员乘务制度及换班方式	72
第三节 列车运行图	75
第四节 机车周转图	78
第五节 机车运用指标	81
复习思考题	83
第九章 机车的整备作业	84
第一节 燃油的整备作业	84
第二节 机油的整备作业	86
第三节 冷却水的整备作业	88
第四节 联合调节器工作油和机车用砂的整备作业	90
复习思考题	91
第十章 机车操纵	92
第一节 接车作业	92
第二节 发车准备与列车起动	95
第三节 途中运行	96
第四节 不同线路上的操纵	99
第五节 特殊条件下的操纵	100
第六节 列车正点运行	102
第七节 重载列车	103
第八节 旅客列车平稳操纵	105
第九节 制动机操纵	109
第十节 电阻制动及紧急制动	114
第十一节 终点站及入段作业	115
复习思考题	116
第十一章 主要部件的保养	117
第一节 柴油机的日常保养	117
第二节 增压器及静液压系统的保养	118
第三节 电机、电器的保养	119
第四节 蓄电池的保养	120

第五节 轴箱及牵引电动机抱轴的保养·····	121
复习思考题·····	121
第十二章 机车防寒和防火·····	122
第一节 机车防寒·····	122
第二节 机车防火·····	124
复习思考题·····	125
第十三章 机车运行安全设备·····	126
第一节 LKJ-93A 型监控装置 ·····	126
第二节 IC 卡管理系统介绍 ·····	131
第三节 列车尾部安全防护装置·····	132
第四节 轴承温度监测装置·····	133
复习思考题·····	134
参考文献·····	135

绪 论

一、《内燃机车牵引及运用》同铁路运输发展的关系

铁路是国民经济的大动脉,在国民经济的发展中起着非常重要的作用,是为国民经济的先导。作为铁路牵引动力的内燃机车,在进入 20 世纪 90 年代后,发展迅速,已成为我国铁路主要牵引动力之一。

内燃机车的优点是机动、灵活、一次性投资少,上马快。当前内燃机车的发展趋势是:

1. 机车功率等级迅速提高;
2. 微机控制将得到普遍应用;
3. 交流电力传动将成为发展的必然趋势;
4. 柴油机性能将有进一步提高;
5. 内燃机车转向架技术将得到发展。

由于内燃机车技术水平的不断发展,机车功率不断提高,机车牵引力不断增大,这对内燃机车乘务员操纵水平提出了更高的要求,《内燃机车牵引及运用》一书就是为机车乘务员熟练平稳的操纵机车提供了理论依据,使他们能够安全、正点、优质、高效地完成铁路运输任务。

二、《内燃机车牵引及运用》的内容

《内燃机车牵引及运用》一书的内容分两大部分:内燃机车牵引计算和内燃机车运用。

“牵引计算”部分,是内燃机车司机能够熟练平稳地操纵机车、牵引列车的理论基础,主要内容是:研究、分析内燃机车的牵引力、列车运行阻力和调整列车速度的列车制动力;研究、分析影响作用于内燃机车上各种力的因素,了解和掌握列车在各种工况下运行的规律;研究、确定与一定线路纵断面和机车类型相适应的列车牵引重量;列车运行时间和走行距离;列车制动距离和燃油消耗量的计算等内容。

“机车运用”部分,讲述了内燃机车的整备、操纵、保养等作业方法和基本知识,对重载列车的牵引和旅客列车的平稳操纵及内燃机车监控装置也作了简要的阐述,以使机车乘务员能够正确操纵和保养机车,合理运用机车功率。

三、《列车牵引计算规程》和《机车操作规程》

《列车牵引计算规程》(简称《牵规》)是进行列车牵引计算的依据,它规定了牵引计算的方法和在计算中使用的各种技术数据的标准。本书的牵引计算部分就是根据 TB/T1407-1998 实施的《牵规》有关规定,以东风_{4B}型内燃机车为主进行讲述的。

《机车操作规程》(简称《操规》)是机车乘务员作业的标准,是操纵机车规范化标准化的依据和法规,同时,它又是长期以来机车操纵经验的总结。本书机车运用部分中的操纵内容,就

是根据 2000 年 5 月 1 日施行的《操规》规定的作业程序进行编写的。为此,希望从事机车运用的人员认真学习,能够根据实际情况,利用本书的理论知识作好机车运用工作。

四、《内燃机车牵引及运用》的学习方法

《内燃机车牵引及运用》是理论与实践相结合最密切的一门应用学科。为此,要求学员在熟知机车柴油机、电传动、空气制动机和有关的行车知识及规章命令的基础上学习机车的牵引计算及运用知识。在学习上要理论联系实际,这对掌握机车操纵和保养的基本知识和基本技能,拓宽基础知识领域,强化岗位基本功的训练,提高机车乘务员的技术素质,具有非常积极的意义。

五、列车牵引计算的单位及取值规定

主要物理量的名称	单 位	取值规定
区间距离	km	取至 2 位小数
坡段长度	m	以整数计
坡道坡度	‰	取至 2 位小数
牵引力、制动力	kN	取至 1 位小数
单位牵引力、单位阻力、单位制动力	N/kN	取至 2 位小数
速 度	km/h	取至 1 位小数
牵引质量	t	取 10 的整倍数
区间运行时间	min	取至 1 位小数
电 流	A	以整数计

第一章

内燃机车牵引力

第一节 内燃机车牵引力的产生过程

机车牵引力是动力传动装置引起的与列车运行方向相同的外力(以 F 来表示)。这是司机可以控制的使列车发生运动或加速的力。内燃机车牵引力产生过程如下:

燃料油的化学能,经柴油机转化为机械功,通过传动装置再转化为机车动轴上的内机械功,依靠轮轨间的粘着作用转变为牵引力外功,如图 1—1(a)所示。

柴油机通过传动装置使牵引电动机的小齿轮输出转矩 M' ,假若齿轮摩擦损失、轴承摩擦损失不计,经过动轴大齿轮,使机车动轮获得一个与 M' 方向相反的转矩 M ,在转矩 M 作用下动轮要产生绕轮心(即轴心)的转动,又由于动轮与钢轨紧密接触,故而动轮表面形成轮周切线力 F' ($F' = \frac{M}{R}$),这个轮周切线力作用于钢轨,根据作用力与反作用力定律,在 F' 作用于钢轨的同时,钢轨也必然给动轮一个与 F' 大小相等方向相反的反作用力 F ,如图 1—1(b)所示。对机车来说, F 是由动力传动装置引起的来自钢轨的外力,并且总是与机车运行方向相同,所以,它就是内燃机车牵引力。

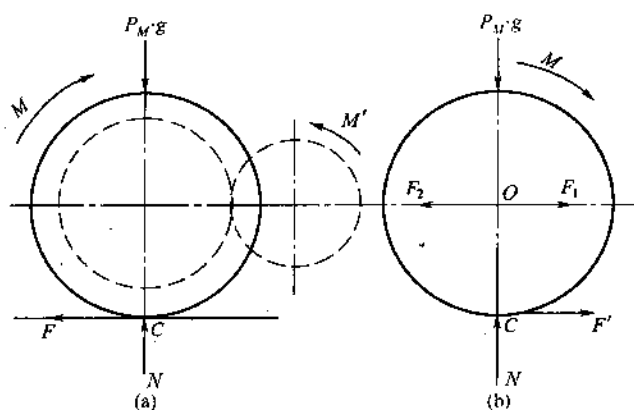


图 1—1 牵引力的形成

上述过程如同人走路一样,对人来说,脚向后蹬地的力是内力,正是靠这一内力,获得了地给予人向前运动的外力。力 F 也是由动轮给予钢轨的作用力 F' 、靠轮轨间的相互作用(摩擦或者粘着)而得到的向前运动的外力。根据作用力与反作用力定律可知,只要轮轨间的粘着不破坏,即动轮不发生“空转”,力 F 总是等于力 F' 。因为 F' 是可以控制与调节的,所以,牵引力 F 也可以被控制和调节。

第二节 内燃机车牵引力的几个概念

一、按照内燃机车能量转换过程得到的几种牵引力概念

内燃机车牵引力的形成必须顺次经过以下能量转换阶段:

燃油的化学能由柴油机转变为机械功;

柴油机输出的机械功经传动装置变为机车动轮轮周的内机械功;

依靠轮轨间的粘着,动轮轮周的内机械功转化为牵引力的外功。

由此可知,内燃机车的柴油机、传动装置、轮轨间的粘着为它的三个能量转换过程,由此可以得到以下几个牵引力的概念:

1. 柴油机牵引力:受柴油机功率限制而确定的轮周牵引力。

2. 传动装置牵引力:受传动装置的工作能力限制而确定的轮周牵引力。

3. 粘着牵引力:根据机车动轮与钢轨间的粘着能力而确定的轮周牵引力。

这三个变能环节各自都有一定的变能能力,如果三者能力大致相等,对一台内燃机车来说是理想的,否则,内燃机车牵引力必然受到能力最小者的限制。注意:以上三种牵引力的概念,是用三个名称来比较其工作能力。决不能将柴油机牵引力理解为作用在柴油机上的牵引力或者将传动装置牵引力理解为作用在传动装置里的牵引力。

二、按照机械功传递顺序得到的几种牵引力概念

1. 轮周指示牵引力 F_i :即假定气缸中燃气对活塞所做的功,毫无损失地传到动轮轮周所得到的牵引力。它只是一个理想数值,是为了机车设计方便,才假定它是作用在机车轮周上。 F_i 可以由测定柴油机气缸的指示功通过计算而得到。

2. 轮周有效牵引力 F_e :实际作用在机车动轮轮周的牵引力即从钢轨得到的反作用力。由于柴油机产生的机械功,在经过传动装置传递到机车动轮轮周的过程中,不可避免地会产生机械损失,所以轮周有效牵引力 F_e 总是小于 F_i 指示牵引力 F_i 。

我国《列车牵引计算规程》规定“牵引计算中的内燃机车牵引力 F ,均按动轮轮周牵引力计算”。以前的《牵规》用的是 F_e ,新《牵规》实际上改用了 F_i ,参看本书第二章第二节之二(基本阻力计算)。

3. 车钩牵引力 F_g :作用在机车车钩上的牵引力,等于轮周牵引力减去机车运行阻力后得到的牵引力。由于车钩牵引力的作用点是在机车车钩上,机车运行时为克服机车本身阻力,以及各种附加阻力,不可避免地要消耗一部分轮周牵引力,所以,车钩牵引力 F_g 永远小于轮周有效牵引力 F_e 。

这里应该指出,我们在以后的叙述和计算中,仅采用“轮周牵引力”这一概念。按新《牵规》,它实际上就是轮周指示牵引力或者说是轮周牵引力的指示值,而不是有效值。机车牵引力的单位以千牛(kN)表示。由于动轮直径的变化会影响牵引力的大小,《牵规》规定:机车牵引力按轮箍半磨耗状态计算,无论是设计还是实验资料,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。

第三节 粘着牵引力

一、粘着牵引力的确定

我们知道,一方面轮周牵引力是钢轨对动轮的反作用力,另一方面,轮周牵引力又是一个静摩擦力,因此,它必然有一个极限值——最大静摩擦力,我们把这个极限值称为轮轨间的理论粘着力,由下式计算:

$$F_n = P_n \cdot g \cdot \mu \quad (\text{kN}) \quad (1-1)$$

式中 F_n ——轮轨间的理论粘着力 (kN);

P_n ——机车计算粘着重量(t);

μ ——轮轨间的理论粘着系数;

g ——重力加速度,取为 9.81 m/s^2 。

理论粘着力与许多因素有关,粘着系数的变化是决定因素。粘着系数可概括为:在无滑行或无空转时,机车各轮周牵引力之和与机车粘着重量之比值,称为粘着系数。

机车在运行中,由于以下各种因素使实际粘着力小于理论数值:

1. 运行中的冲击、振动等作用,使粘着重量经常变化,各动轴荷重不均,使有些轴粘着力下降;
2. 机车的蛇行运动、摇摆、同一轮对滚动圆直径不等,使轮轨间经常发生微量的横向和纵向滑动摩擦;
3. 动轮与钢轨接触面间的状态经常变化。

由于以上原因,粘着系数具有很大的随机性,变化范围很大,而且影响因素很多,所以很难准确计算,一般通过实验结果整理成经验公式作为计算的依据。这个计算的依据就是计算粘着系数。《牵规》规定,国产电传动内燃机车按下式计算:

$$\mu_j = 0.248 + \frac{5.9}{75 + 20v} \quad (1-2)$$

ND₅ 型电传动内燃机车按下式计算:

$$\mu_j = 0.242 + \frac{72}{800 + 11v} \quad (1-3)$$

内燃机车在曲线半径小于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:

$$\mu_r = \mu_j (0.805 + 0.000355R) \quad (1-4)$$

用计算粘着系数计算得到的轮轨间的粘着力叫做计算粘着力,即通常所说的粘着牵引力,是计算粘着牵引力的简称。可用下式计算:

$$F = P_n \cdot g \cdot \mu_j \quad (\text{kN}) \quad (1-5)$$

二、车轮空转

(一) 空转的形成

机车牵引运行时,若忽略轴承摩擦阻力及加速阻力,动轮受力情况如图1-2所示。

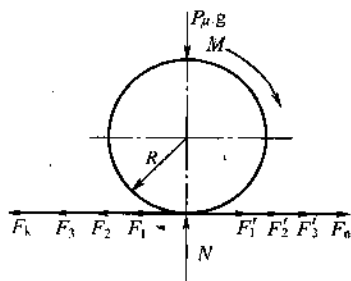


图 1-2 车轮空转形成示意图

粘着重量 $P_n \cdot g$ 与钢轨垂直反作用力 N 为一对平衡力,而水平力 F' 与 F 分别作用于钢轨和动轮。钢轨对动轮的反作用力 F 在轮轨粘着条件下总是与 F' 大小相等,如 F' 增加到 F'_1 ,则 F 亦增至 F_1 , F' 增至 F'_2 , F 亦增至 F_2 ...如图 1—2 所示。但 F' 在柴油机功率范围内可随意调节,而 F 则受到轮轨间粘着能力的限制。

设轮轨间最大粘着能力为 F_n ,一旦 F' 增大到 F_k 超过 F_n 时,动轮轮周便出现钢轨不能支承的力,其值为 $(F_k - F_n)$ 。对动轮轴心构成力矩 $(F_k - F_n)R$,在此力矩作用下,动轮将产生绕轮心的空转。故 $(F_k - F_n)R$ 叫空转力矩。

动轮空转后,轮轨间摩擦变为滑动摩擦,而滑动摩擦系数比粘着系数小的多,所以动轮空转后机车牵引力会大幅下降,并随着空转的进行,轮轨接触点处温度升高,空转会越来越激烈,如果不减小动轮对钢轨的作用力,最后可能使动轮得来的全部能量完全消耗在原地空转中。结果,不仅使机车丧失牵引力,严重的会造成机破事故。所以,加在动轮轮周的切线力 F' 在任何时候都不应超过轮轨间的粘着力。就是说,机车牵引力 F 在任何时候都不可能大于轮轨间的粘着力。

(二)防止空转

当机车一旦发生空转,机车牵引力急剧下降,列车将会晚点;在上坡道上发生空转,会造成坡停事故。为此,司机在操纵机车时,要防止发生空转。

1. 产生空转的因素

- (1) 司机操纵不当。起车或加速时,柴油机转速升高过快,使机车牵引力突然增大。
- (2) 机车状态不良。如各轴荷重不均,牵引电动机电流分配不均,机车油、水漏到轨面。
- (3) 线路状态不良。如轨面不清洁、路基松软等。

2. 空转的害处

- (1) 轮周牵引力减小。在机车起动时,使列车不能起动或加速,造成列车晚点;爬坡时,因牵引力突降而使列车停车,造成坡停事故。
- (2) 牵引电动机转速突然增大,会使电枢匝线甩断;同时因个别电机转速升高,电流会急剧减小,其它电机电流会增大,烧损电机。
- (3) 造成车轮踏面或轨面磨损,列车起动时空转很严重的可把轨头磨掉,使钢轨纵向出现若干个很大的弧形凹坑,而根本起动不了。
- (4) 由于电机转速很高,造成端电压过大,易使牵引电动机换向器发生环火甚至将电机绝缘击穿而放炮。

(三)机车撒砂

撒砂的目的是为了增加轮轨间的粘着系数,防止空转的发生。这对于牵引货物列车,尤其是牵引重货列车起着非常重要的作用。因此,掌握好撒砂的时机和方法,是列车起动和坡道操纵的一个重要环节。

撒砂的时机,首先是掌握机车发生空转的时机和预兆,防止空转于未发生之前;其次是掌握撒砂空走时间和距离,做到正确、合理、适时、适量地撒砂,才能收到效果。

撒砂量不可过大,时间不可过长,因为,这不仅浪费砂子,重要的是增加了列车运行的阻力。所以,应力求用最少的撒砂量得到较大的粘着力。

撒砂的方法有点式和线式两种。点式撒砂,是断断续续地撒砂,主要用于曲线和爬坡加速阶段。线式撒砂,是连续不断在轨面上撒砂,主要用于加速或轨面附有油、水、霜、雪时起车和制动。

机车已经发生空转时,严禁撒砂。如果这时撒砂,会使轮轨间磨损增大,使机械及走行部分受到损坏。

发生空转时,应立即将主手柄退回“0”位,以降低或消除牵引力,使空转停止。待空转消失后,应及时撒砂,提主手柄,增加牵引力,要注意避免空转再次发生。

(四)提高粘着牵引力的方法

随着内燃机车技术水平的发展,机车功率的加大,牵引重量的增加,轮轨间的粘着力已经限制了机车牵引力的进一步提高。为了多拉、快跑,充分发挥机车的功率,进一步提高机车轮轨间的粘着力,就成为一个重要的课题。提高粘着力最有效的方法:一般来说就是改善轮轨间的粘着条件和防止轮周牵引力超过粘着力。

1. 要经常保持机车的良好技术状态。各动轴重量分配要均衡。同一轮对两轮直径要相等,组装要正确,并防止踏面擦伤、剥离等。

2. 保持走行部的清洁,防止润滑油脂污染轨面及动轮踏面。

3. 适当撒砂,防止空转。

撒砂时应注意,撒砂后列车运行阻力相应增大,这会造成牵引力的浪费,另外还应注意,撒砂只能预防空转的发生,而不能制止空转。因为空转时撒砂只会使动轮踏面磨损加剧。

第四节 柴油机及传动装置牵引力

一、柴油机牵引力

柴油机是内燃机车的第一个变能环节,它的功率大小从根本上限制了机车的牵引力。所以称受柴油机工作能力限制而确定的轮周牵引力为柴油机牵引力。

(一)柴油机牵引力的确定

内燃机车在某一速度时的柴油机牵引力,可以根据以下步骤来确定:

1. 柴油机的有效功率 N_e 。

柴油机的有效功率 N_e 由下式求出:

$$N_e = p_e V_h \frac{n}{\tau} i \quad (\text{kW}) \quad (1-6)$$

式中 p_e ——柴油机平均有效压力 (kPa);

V_h ——柴油机每个气缸的工作容积(m^3);

n ——柴油机转速(r/s);

τ ——柴油机冲程系数,既柴油机每完成一个工作循环所需要的曲轴转速,四冲程柴油机 $\tau=2$,二冲程柴油机 $\tau=1$;

i ——柴油机工作缸数。

2. 轮周功率 N

轮周牵引力 F 在单位时间内所做的功,即对应于轮周牵引力 F 的机车功率,称为轮周功率,计算公式为:

$$N = \frac{Fv}{3600} \quad (\text{kW}) \quad (1-7)$$

式中 F ——机车轮周牵引力(kN);

v ——机车速度(km/h)。

按新《牵规》，柴油机功率传到轮周过程中的损失均计入机车基本阻力之中，故

$$N = N_e \cdot \eta_{\text{轴}} \quad (\text{kW}) \quad (1-8)$$

式中 $\eta_{\text{轴}}$ ——驱动辅助装置的效率，东风_{4B}型内燃机车的 $\eta_{\text{轴}} = 0.9$ ，即柴油机牵引力

$$F = p_e V_h \frac{n}{\tau} i \eta_{\text{轴}} \times \frac{3.6}{v} \quad (\text{kN}) \quad (1-9)$$

(二)影响柴油机牵引力的因素

从式(1-8)可见，在一定的速度下，柴油机牵引力受到柴油机有效功率的限制，即受柴油机尺寸(V_h)、柴油机转速(n)、冲程系数(τ)、气缸工作数(i)及平均有效压力(p_e)的限制。对给定的柴油机， V_h 、 n 、 τ 和 i 都是常数，所以，柴油机牵引力 F 将随平均有效压力 p_e 的大小而变化。因此 p_e 成了影响机车功率的根本因素。 p_e 值的大小取决于柴油机每工作循环完全燃烧的燃油量，完全燃烧的燃油量越多， p_e 值越大，机车牵引力越大。在运用条件下，注意改善燃烧过程，保持柴油机的作功能力和各项经济指标的高效值，不仅对提高机车牵引力有利，而且对保证机车安全、正点运行也有实际的意义。

(三)柴油机牵引力的修正

由式(1-8)可知，要提高有效功率 N_e ，就要提高平均有效压力 p_e 值，这不仅要增加柴油机每工作循环的供油量，还与进入气缸内的空气量有关。进入气缸的空气量决定于空气密度，而空气密度与大气压力、环境温度和相对湿度有关。通常所说的内燃机车柴油机功率，是按大气压力 $1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$ (760 mmHg)、环境温度 20°C 、相对湿度60%等标准大气条件确定的功率。当内燃机车运用在大气压力较低的高原地区或高温地区时，由于柴油机功率降低应对机车牵引力作适当修正。《牵规》规定：东风_{4B}(货、客)型内燃机车，在海拔高度不超过500 m或环境温度不高于 30°C 地区运用时，机车牵引力不予修正。内燃机车牵引力受海拔高度影响的修正系数 λ_p 和受环境影响的修正系数 λ_t 分别列于表1-1、表1-2。

表 1-1 内燃机车牵引力海拔修正系数 λ_p

海拔高度 $H(\text{m})$	500	1 000	1 500	2 000	2 500	3 000	3 500	4 000
大气压力 $p_0(\text{kPa})$	95.23	89.64	84.32	79.40	74.61	70.22	65.97	62.85
DF _{4B}	45GP802-A 增压器	1.000	0.940	0.880	—	—	—	—
	ZN310 增压器	—	—	0.885	0.823	0.758	0.697	0.569

表 1-2 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($^\circ\text{C}$)	30	32	34	36	38	40
DF _{4B} (货、客)	1.000	0.982	0.952	0.921	0.892	0.864
DF ₈ 及DF ₁₁	1.000	0.984	0.950	0.913	0.877	0.841

东风_{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系数 λ_s ，单机或双机重联牵引的第一台机车取0.88；双机重联牵引的第二台机车取0.85。修正后的机车牵引力 F_x ，按下式计算：

$$F_x = F \times \lambda_h \times \lambda_p \times \lambda_s \quad (\text{kN}) \quad (1-10)$$

牵引区段内确定海拔修正系数的地点，原则上应取限制坡道的坡顶海拔，并依此计算出机车的牵引重量。

通过以上分析可知,机车运用中保持柴油机增压设备作用的良好,保持冷却水的标准温度,对提高柴油机牵引力,是具有重要意义的。

(四)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,第二台及其以上的每台机车牵引力均取全值的 0.98,推送的补机的牵引力均取全值的 0.95。

(五)牵引力的取值和牵引力使用系数

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,新《牵规》增加了“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 ,并且规定 λ_Y 取 0.9。即实际使用的最大牵引力为:

$$F_Y = F\lambda_Y \quad (1-11)$$

二、传动装置牵引力

柴油机的功率必须通过传动装置才能在轮轨间形成牵引力,也就是说,如果传动装置的功率不够大,或其工作特性不好,即使柴油机有足够的功率,也不能充分和有效地传递到车轮上形成牵引力。

(一)电力传动装置牵引力的计算

柴油机产生的机械能通过牵引发电机转化为电能,经整流装置及牵引电动机转化为轮周上的机械能。因此,电传动装置牵引力,可根据电传动装置所能传到动轮上的轮周功率与以轮周牵引力表示的轮周功率相等的条件得出。

电传动装置传到动轮上的轮周功率:

$$\text{交流发电机} \quad N = \frac{\sqrt{3} U_F I_F \cos \varphi}{1000} \eta_{\text{ZL}} \eta_{\text{D}} \eta'_{\text{C}} \quad (\text{kW}) \quad (1-12)$$

轮周牵引力表示的轮周功率为式(1-6),令式(1-11)与式(1-6)相等得:

$$\text{交流发电机} \quad F = 0.0036 \frac{\sqrt{3} U_F I_F \cos \varphi}{v} \eta_{\text{ZL}} \eta_{\text{D}} \eta'_{\text{C}} \quad (\text{kN}) \quad (1-13)$$

式中 F ——电传动装置牵引力(kN);

U_F ——牵引发电机端电压(V);

I_F ——牵引发电机端电流(A);

η_{ZL} ——整流柜效率;

η_{D} ——牵引电动机效率;

η'_{C} ——齿轮传动效率;

$\cos \varphi$ ——功率因数;

v ——机车速度 (km/h)。

式(1-12)表明,电传动装置牵引力的大小,决定于牵引发电机的端电压 U_F 和端电流 I_F 。这两个参数又决定着柴油机功率被利用的程度,因而在选用牵引发电机时,其额定功率或容量必须能充分发挥柴油机功率的要求。

(二)电力传动装置牵引力与电机温升的关系

电力传动装置牵引力除了受电力传动装置的功率限制外,还受电机温升的限制。牵引发

电机和牵引电动机在工作时,电枢绕组、励磁绕组、换向器和轴承都要发热。电机的工作时间越长,负荷越大,发热部分的温度也就越高。由于发电机发热的程度与时间有关,所以,电机的容许电流可分为持续电流、小时电流和最大电流,同时产生几个相关概念:持续牵引力、持续速度和机车最大牵引力。

电机在额定电压下长时间低速运转,其各部温升接近而不超过容许温升标准的电流,称为持续电流。东风_{4B}型机车,持续电流(硅整流装置的输出额定电流)为4 800 A,每个牵引电动机为800 A。对应于持续电流的机车速度,称为持续速度。对应于持续速度的机车牵引力,称为持续牵引力。如果机车牵引电流小于或等于这一电流时,是允许长时间连续运行的。而长时间超过这一电流值时,电机产生的热量会造成电机过热甚至烧损。

小时电流指在额定电压下,电机可以连续运行1 h,它各部分的温度不超过容许温升标准的电流。东风_{4B}型机车由超过硅整流装置的额定电流(4 800 A)到运行中的最大电流(6 000 A)的范围内,规定在1 h可以连续工作。所以,6 000 A是它的小时电流值。

最大电流或最大容许电流是电机在短时间内工作容许达到的最大电流。如东风_{4B}型内燃机车硅整流装置在起动时;最大容许电流为6 480 A时,时间不超过30 min。最大电流所对应的轮周牵引力,称为机车最大牵引力。

持续牵引力取机车主控制器在最高手柄位(柴油机最高转速),车轮轮箍半磨耗条件下受牵引电机温升限制或机车冷却能力限制的轮周牵引力。《牵规》所列的各类型机车轮周牵引力,都是按动轮轮箍半磨耗条件下制定的。即动轮直径按轮箍原型尺寸到禁用限度尺寸的1/2计算的。此动轮直径称为“计算动轮直径 D_j ”。

第五节 内燃机车牵引特性、功率特性、效率特性及牵引计算标准

一、内燃机车牵引特性

内燃机车在恒功率条件下运行时,轮周牵引力随着机车速度的变化而变化的规律,称为机车的牵引特性。关系式为 $F = f(v)$ 。这种机车牵引力可以通过计算和实测得出,通常以不同手柄位或柴油机转速(r/min)区分为若干条曲线,加上计算粘着牵引力曲线便组成内燃机车牵引特性曲线。

1. 理想牵引特性

我国现阶段铁路运输的要求是“高速、重载”,机车应能在保证安全的条件下,以尽可能高的速度牵引车辆运行;而在低速运行时(机车不低于其最低持续速度),又能发挥出较大的牵引力来牵引较重的列车。因此,机车应该能够在功率一定的情况下自动地调节速度与牵引力之间的关系。这里需要指出的是,司机可以按照线路纵断面的变化或牵引重量的不同,调节柴油机的功率,因而机车也就可以发挥全功率或部分功率而工作;但对任何一种功率来说我们都要求它是恒定不变或是接近恒定的,只有这样,才能充分地发挥机车的牵引能力。根据这样的要求,即 $N = \text{常数}$ 时,内燃机车牵引特性曲线 $F = f(v)$ 应该是一组等边双曲线。这一点由传动装置来实现,如果是电传动机车,必须使 $U_F I_F = \text{常数}$ 。这说明:在柴油机转速一定时,为了充分利用柴油机的功率, U_F 和 I_F 乘积必须保持为一常数。如果用坐标图来表示,就如图 1—3 中的等边双曲线 AB 所示。这种牵引力随速度变化的关系,就是理想牵引特性。从图 1—3 中