

DIANLIJICHE  
QIANYIN  
JICHUZHISHI

# 电力机车牵引 基础知识



人民铁道出版社

# 电力机车牵引基础知识

宝鸡电力机车段编

人 民 铁 道 出 版 社

1 9 7 8 年 · 北 京

**电力机车牵引基础知识**

宝鸡电力机车段编

人民铁道出版社出版

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民铁道出版社印刷厂印

开本：787×1092<sub>1/16</sub> 印张：5.5 插页：1 字数：117千

1978年4月第1版 1978年4月第1次印刷

统一书号：15043·5073 定价：0.41元

## 内 容 简 介

本书主要内容有：牵引力、运行阻力、交直流电力机车牵引特性、电力机车起动、调速、电气制动等。同时简略讲述了机车、车辆的机械制动装置和列车运行中的计算问题。

书中着重讲解了力的基本知识，为读者建立了牵引动力如何运动、变速以及停车等的概念。文字通俗、易懂，避免深奥的理论。

本书专供培养电力机车乘务新工人学习之用。也可供其他牵引动力乘务人员参考。

# 目 录

<b>第一章 牵引力</b> .....	1
第一节 力的概念.....	1
第二节 粘着.....	2
第三节 牵引力的形成.....	5
第四节 电力机车机械功传递过程中的三 种主要牵引力.....	7
第五节 粘着系数.....	9
第六节 提高机车粘着牵引力的措施.....	11
<b>第二章 列车运行阻力</b> .....	15
第一节 阻力和阻力的分类.....	15
第二节 列车运行的基本阻力.....	16
第三节 计算机车、车辆基本阻力的经验公式.....	23
第四节 列车运行中的附加阻力.....	28
第五节 列车阻力的计算.....	35
第六节 线路纵断面的化直.....	38
<b>第三章 直流电力机车的牵引特性</b> .....	42
第一节 概述.....	42
第二节 牵引电动机的电气机械特性.....	43
第三节 串激、它激牵引电动机的特性.....	46
第四节 直流电力机车的牵引特性.....	52
第五节 电力机车特性曲线的绘制.....	55
<b>第四章 整流器式电力机车的牵引特性</b> .....	58
第一节 整流器式电力机车的整流线路.....	58
第二节 脉振电压下牵引电机的工作情况.....	60

第三节	改善脉流牵引电机工作条件的措施	61
第四节	整流器式机车的牵引特性	65
<b>第五章</b>	<b>电力机车的起动和调速</b>	<b>69</b>
第一节	电力机车的调速概述	69
第二节	直流电力机车的调速	70
第三节	磁场削弱	71
第四节	整流器式机车的调速	76
第五节	整流器式机车的电压调节	77
第六节	对电力机车起动的要求	83
第七节	电力机车的起动	84
<b>第六章</b>	<b>机车、车辆的机械制动装置及空气制</b>	
<b>动理论基础</b>		<b>87</b>
第一节	机车的机械制动装置	87
第二节	车辆空气制动机概说	89
第三节	空气制动的理论基础	93
<b>第七章</b>	<b>列车制动力</b>	<b>102</b>
第一节	制动力的概述	102
第二节	制动力的产生和限制	103
第三节	闸瓦对轮箍的摩擦系数	105
第四节	闸瓦压力	110
第五节	闸瓦压力的限制和轴制动率	115
第六节	列车制动力的计算	116
<b>第八章</b>	<b>电力机车的电气制动</b>	<b>125</b>
第一节	概述	125
第二节	电阻制动	126
第三节	电阻制动力的计算	133
第四节	再生制动	137
<b>第九章</b>	<b>列车运行中的计算问题</b>	<b>142</b>

第一节	作用在列车上外力的合力 .....	142
第二节	力与加速度的关系 .....	144
第三节	列车运行时分的计算 .....	147
第四节	列车走行距离的计算 .....	148
第五节	制动距离的计算 .....	149
第六节	机车牵引重量的计算 .....	157
第七节	列车在长大下坡道上极限速度的 计算 .....	161
第八节	列车在长大下坡道上以某一均衡 速度运行时，总闸瓦压力的校验 .....	163

# 第一章 牵 引 力

## 第一节 力的概念

在力学中，当甲物体作用于乙物体，使乙物体发生运动状态的改变时，通常就把这种作用称为甲物体作用于乙物体的力。例如，当列车施行制动时，压缩空气进入制动缸，推动鞣鞣，经基础制动装置和杠杆机构的作用，使闸瓦压在轮箍上，我们就把闸瓦对于车轮的这个作用力称为车轮受到的闸瓦压力。由此可知，运动着的物体，它的运动状态——诸如相对位置、速度等之所以会发生变化，就在于运动着的物体受到了其它物体的力的作用。

运动着的物体，在力的作用下，其运动状态的改变，完全决定于该力的作用点、大小和方向。因此说力是一个有向量。

作用于物体的力是多种多样的，例如，运行中的列车除了在机车、车辆之间，以及列车与其所接触的各物体之间，（如钢轨、空气）互相作用着复杂的力之外，它还要受到由于线路坡道和曲线的改变对它产生的力的作用。为了便于认识和分析这多种多样的力对列车运行状态的影响，可以把这些力分为外力和内力。一般来说，我们把来自列车以外的物体作用于列车的力称为外力，把组成列车的各个单元——车辆之间相互作用的力称为内力。

这里应该说明，内力与外力之分，是有条件的，并不是绝对的，它们的区分完全是根据生产实践的需要；研究、分析、计算列车运行有关问题的方便与否来决定的。例如，对整个列车来说，其所受的外力计有：列车的重量引起的重力；钢



轨作用于列车上的各种力；周围大气作用于列车上的各种力。但是，当我们把一列车分成两部分来研究时，那么另一部分列车对所研究的这一部分列车的作用力，也就属于外力了。

内力总是成对出现的，它们的大小相等，方向相反，又作用于一点，因此内力是不能改变物体的运动状态的。只有在外力的作用下，才会使物体的运动状态发生变化。

列车运行中，作用于列车上的外力，计有牵引力，重力、阻力、制动力。然而，这些力并不是同时作用于列车上的，而是依列车的运行状态的不同，其中的某些力分别作用于列车：

机车带电运行——牵引力和阻力作用于列车；

机车断电惰行——阻力作用于列车；

列车制动运行——制动力和阻力作用于列车。

作用于列车上的各种外力的合力，决定了列车的运行状态。因此，了解和熟悉作用在列车上的各种外力的形成、变化规律和计算方法，是分析和计算列车运行有关问题的必要基础知识。

## 第二节 粘 着

大家知道，当一个静止的物体受到外力作用时，随着外力的加大，这个静止的物体与支承物的接触面间的静摩擦力也跟着加大，直到外力超过静摩擦力的最大值时，物体的静止状态被破坏了。此时，物体在外力的作用下，沿着支承物表面开始滑动。为了便于分析物体在外力作用下，由静止到开始滑动这一过程中物体和支承物之间的相互作用情况，可以把这个全过程分别称为潜动阶段（滑动以前的阶段）和滑动阶段。

在机车轴荷重的作用下，当动轮压在钢轨上静止不动时，在轮轨的接触点 $C$ 处，也有静摩擦力存在，而这个静摩擦力的大小，由作用于机车动轮的外力来决定。

如图1—1所示：动轮轴重 $G$ 通过轮轨接触点 $C$ ，作用于钢轨上，则钢轨有一反作用力 $G'$ 通过 $C$ 点作用于动轮。设此时若有一力 $F'$ 通过 $C$ 点作用于钢轨时，则钢轨有一反作用力 $F$ 作用于动轮。此力 $F$ 将企图使动轮沿钢轨滑动。但是，只要机车动轮处在潜动阶段，这个外力 $F$ 就被机车动轮和钢轨接触表面高低不平的机械弹性变形和分子间的相互作用力所平衡，因而动轮

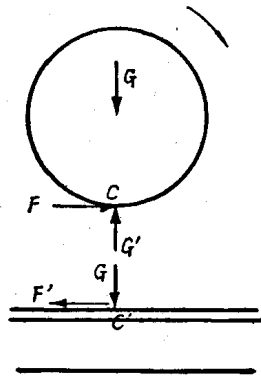


图1—1

相对于钢轨不会发生滑动，而只是在轮轨接触处产生弹性变形。

通常，我们就把这种阻止动轮对钢轨作相对滑动运动的静摩擦力称为粘着力，这时的状态叫做摩擦粘着。

如果作用于动轮的外力 $F$ 不断地加大，超过了粘着力，其结果轮轨接触处的弹性变形力，分子相互吸引力再也平衡不了外力 $F$ ，以致轮轨间摩擦粘着状态被破坏，使动轮相对钢轨产生硬性位移而进入滑动阶段。这时动轮与钢轨的状态也就转变为滑动摩擦了。此时，钢轨作用于机车动轮的阻力，称为滑动阻力。

当动轮相对钢轨滑动后，由于滑动摩擦阻力总是小于静摩擦力，因而，在牵引电动机转矩的持续作用下，致使动轮在剩余的力矩作用下，产生角加速度，以越来越高的速度，相对钢轨旋转，这就是日常运行中所说的机车发生空转了。

空转的危害性是很大的，轻则不能充分发挥机车的牵引力，造成列车的晚点以至途停事故。例如，曾发生过在一个长10公里的区间运行56分钟的运缓事故。重则造成电机环火，甩绑线、砸坏钢轨的严重后果。如某年冬，在某站起动列车时，由于机车长时间的空转，结果机车轮对下面的钢轨被磨坏，造成报废的事故。除此而外，还会擦伤轮箍踏面，导致机车某些紧固部件的松动，引起机车某些装置的振动，从而影响机车的使用寿命。由此可知，在日常运行中，应尽量避免和及时制止机车发生空转现象。

由上面的讨论就可以看出，随着钢轨作用于动轮的外力的改变，最终将导致机车动轮相对于钢轨的状态发生根本性的改变。在日常分析、研究粘着现象时，把作用于动轮的外力和动轮、钢轨间粘着力相平衡的临界瞬间，称作为“始动瞬间”。这时，如果作用于动轮的外力稍微一增大，动轮相对于钢轨就要开始发生滑动了。通常把这个条件下的粘着力称作为极限粘着力。

从而，可以得出一个重要的结论：在任何时候、任何情况下，机车动轮所能实现的牵引力不能大于动轮与钢轨间的极限粘着力，因此，机车所能发挥的轮周牵引力只能小于或等于极限粘着力。

机车每个动轮的粘着力可依下式计算：

$$F = 1000 \varphi_K \cdot G \text{ 公斤} \quad (1-1)$$

式中： $F$ ——粘着力；

$\varphi_K$ ——粘着系数；

$G$ ——机车动轮轴重 吨。

总结以上讨论应该记住以下要点：

1. 粘着力近似的可以认为与轮轨间的静摩擦力相等，但它并不是静摩擦力。这是因为机车动轮轴荷重和钢轨间接

触表面状况一定后，静摩擦力将有定值，而粘着力则不然，还与其它许多因素有关。

2. 粘着力与滚动摩擦毫无关系，更不能认为粘着牵引力是由滚动摩擦力所产生的。

### 第三节 牵引力的形成

由电工学中已知：对于电动机来说，当给它通入电流以后，电机电枢上就要产生电磁转矩，这个转矩通过机车的齿轮传动装置传递到机车的动轮轴上。对机车来说，由于牵引电动机电枢上所产生的电磁转矩是内力，因而，它并不能使机车运动，那么，究竟是哪一個力才使机车得以起动呢？

图 1—2 是一组传动齿轮和动轮在钢轨上静止时的示意图，图中  $O$  表示动轮轮心， $R$  表示半径， $O'$  表示牵引电机转轴中心，（即小齿轮中心）。

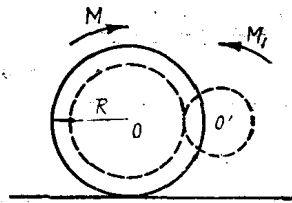


图 1—2

设机车牵引电动机转轴上输出的转矩以  $M_1$  表示，在计入齿轮传递过程中各种损耗的条件下，则在机车动轮轴上引起一个和转矩  $M_1$  方向相反、在数量上等于转矩  $\eta\mu M_1$  的反转矩  $M$ 。（ $\mu$  是大小齿轮的传动比， $\eta_g$  是齿轮传动效率）根据力学的原理可知：一个转矩可以用一个作用在同一平面内并且有相同的旋转方向和大小相等转矩的力偶来代替，而不改变原来转矩对物体的作用。据此，可以用一个以动轮半径  $R$  作力偶臂，以力  $F'$ 、 $F'$  组成的力偶来取代动轮轴上转矩  $M$  对钢轨和转向架构架的作用。如图 1—3 所示。力  $F'$ 、 $F'$  的作用点分别在转向架构架和轴头的接触点  $b$ （实际上通过轴箱拉杆传递）和轮、轨的接触点  $C$ 。

231832

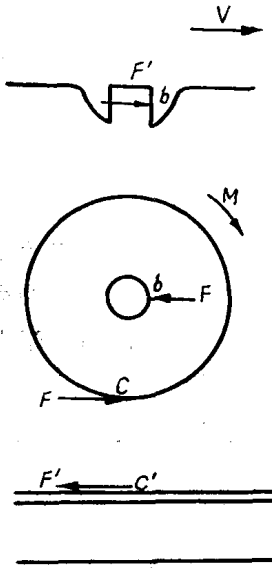


图 1-3

根据力学的理论分析和实践可知：与任何作用力存在的同时，总是有一个和它大小相等、方向相反的反作用力存在，这里应该注意、作用和反作用永远是分别作用在两个不同物体的两个力，因此，不会抵消。

据此，当机车动轮与钢轨的接触点  $C$  以力  $F'$  作用于钢轨时，而钢轨必然要对动轮产生一个反作用力  $F$ 、这个反力  $F$  是由于轮轨间的摩擦粘着而产生的。只要力  $F'$  小于极限粘着力，反力  $F$ 、将随着力  $F'$  的增加而增加。也正是这个反力  $F$  阻止了动轮沿钢轨滑动。

由此可知：只是在有钢轨对机车动轮水平反作用力  $F$  的存在下，作用于机车转向架构架上的力  $F'$ ，才是机车产生平移运动的主动外力。因此，通常把钢轨作用于动轮周上的反作用力  $F$  称作为牵引力。所以说，机车的牵引力是由机车牵引电动机引起并且可以控制的由钢轨沿机车运行方向作用于动轮周上的切向外力。

电力机车，同其它型式的机车一样，实际上都是一种把输入能量变换成牵引力做功的机械装置。就直流机车而言，它通过机车受电弓，把由接触网供给的电能输送给牵引电机，由牵引电机再把电能转换成机械能，借助于机车动轮和钢轨的粘着作用进一步转变为动轮周上的外机械功，以驱动机车。对交流电力机车来说，还要多一个过程——经受电弓输入的交流电，先要经过牵引变压器变压（通常是降压），再经半导体整流，然后送入牵引电动机。由此可知，机车所

能发挥的牵引力，应该受能源的容量大小，以及牵引电动机、机车动轮与钢轨粘着状态这二个能量转换部份工作能力的限制。无论是直流还是交流电力机车，其电能都是由变电所供给的，相对而言，它的容量可以认为是足够大的，因而，机车所能发挥的牵引力，主要还是受限于能量转换部份的工作能力。对应着这些限制，电力机车的牵引力可分为：

1. 牵引电动机牵引力：即按牵引电动机的容量所能得到的牵引力。

2. 粘着牵引力：由于在机车动轮与钢轨间一定的粘着条件下，只能把一定的内力转变为外力，所以，在通常把受粘着状态限制而得到的牵引力称为粘着牵引力。亦即极限粘着力。

#### 第四节 电力机车机械功

##### 传递过程中的三种主要牵引力

在电力机车上，机械功的传递可分为三个主要的连续阶段。首先，是通过牵引电动机这个变能装置，把从接触网上所获得的电能转换成电动机轴上输出的转矩；其次通过齿轮传动装置，经动轮作用于钢轨上，并由钢轨作用于动轮而产生轮周牵引力；最后经机车上有关机械装置传递而作用于车钩，以牵引车列。依据机车外机械功传递过程中力的作用点的不同，相应的机车牵引力可以分为指示牵引力，轮周牵引力，车钩牵引力等三种。

指示牵引力：在机车动轮转动一周内所作的功等于同一回转中牵引电动机轴上的机械功的条件下，计算得到的牵引力称为机车的指示牵引力。实际上，也就是不计齿轮传动装置在机械功传递过程中的损失的情况下，机车才能具有的牵引力。事实上，任何良好的传动装置在传递机械功的过程

中，都不可避免地或多或少的存在着一定数量的损耗，因而，机车永远也发挥不出和指示牵引力相等的牵引力，因此，在某些地方又称指示牵引力为虚拟的牵引力。指示牵引力的作用点应该是在牵引电动机的转轴上，只是为了计算上的方便，也假定它是作用在机车动轮周上。指示牵引力以  $F_i$  表示之。

轮周牵引力：在机车动轮转动一周内所作的功等于牵引电动机轴上的机械功减去动轮同一回转内齿轮传动装置中的阻力功的条件下，所得到的牵引力称为机车的轮周牵引力。轮周牵引力是作用动轮周上的牵引力。实际上，它就是在牵引力的形成一节中所讲的，由钢轨在  $C$  点作用于动轮周的切向力（水平反力） $F$ 。

轮周牵引力亦应等于指示牵引力与机车传动装置效率的乘积。因而，轮周牵引力永远小于指示牵引力。轮周牵引力以  $F_K$  表示之。

车钩牵引力：当机车等速运行时，在机车动轮转动一周内所作的功等于动轮同一回转中的轮周牵引力功减去机车转向架、各种支承复原装置中产生的阻力功以及由坡道和曲线所引起的附加阻力功，由此得到的牵引力称为车钩牵引力。它的作用点是在机车车钩上。由于机车运行时，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份轮周牵引力，所以车钩牵引力永远小于轮周牵引力。车钩牵引力以  $F_H$  表示之。

这里应该指出，虽则我们依机车机械功传递过程中的三个连续阶段分门别类地讲了三种牵引力，但在实际应用中，在新的牵引计算规程未颁布前，应遵照过去部颁发的蒸汽机车牵引计算规程的规定，采用轮周牵引力  $F_K$  进行牵引计算。所以这样规定，是因为对于采用具有同样指示牵引力的牵

引电动机的机车，由于其传动装置的不同，机车在轮周上所能发挥的轮周牵引力也是不同的。至于车钩牵引力不但取决于轮周牵引力和机车车身走行部的状态，而且还受线路纵断面变化的影响，因而在使用车钩牵引力进行计算时，是很不方便的。

故我们在以后的叙述和计算中，仅采用轮周牵引力这一概念。

### 第五节 粘着系数

对于电力机车来说，机车所能发挥的最大牵引力虽受限于牵引电动机的牵引力与机车动轮和钢轨之间粘着牵引力的限制，但由于近代电机生产制造水平的不断提高，各种新型绝缘材料的普遍使用，牵引电机单位重量、单位体积的功率都有很大提高。因而牵引电机完全可以根据需要加大其容量，以提高牵引电机的牵引力，故机车所能发挥的最大牵引力，实际上受限于粘着牵引力。因此，如何提高机车的粘着牵引力，就成为一个很重要的课题。

已知机车每个动轮的粘着力可依公式 (1—1)  $F = 1000\varphi_K \cdot G$  求出，

据此若要增加粘着力，一方面可以利用增加机车动轮轴的荷重，另一方面，可以借助于提高轮、轨间的粘着系数来实现。对于运行中的机车来说，机车动轴荷重则是一个常数，至于新设计制造时，如轴重增加过多时，不仅需要大量的加重铁，而且使机车结构复杂化。此外，还提高了对线路的要求，因此，尽可能地提高轮轨间的粘着系数，借以充分发挥机车牵引力，是机车运用部门的切实可行的办法。

由对粘着的讨论中已知：粘着力即机车沿钢轨运行时，阻止机车动轮相对钢轨滑动的一种摩擦阻力。粘着系数就是



轮轨在摩擦粘着状态下的一种摩擦系数，它近似于轮轨间的静摩擦系数。所以如此，这是因为即使在机车动轴荷重，轮轨接触表面状态一定的条件下，粘着系数并不是一个常数，它还受着轮轨的材质、机车运行速度等因素的影响在变化着。

下面分别讨论一下影响轮轨间粘着系数的几种主要因素，以及与粘着系数的关系：

粘着系数与材质的关系：随着轮轨材质硬度的不同，粘着系数也不同；当材质硬度大时，降低了轮轨接触表面间的弹性变形力，因而粘着系数明显下降。反之，当接触表面间材料的弹性越好时，粘着系数也就大。

粘着系数与接触表面间状态的关系：从实际运行中可以知道，潮湿、降雾、霜或小雨天气以及当轨面有油污、冰霜不清洁时，粘着系数将减小，适时、适量的撒砂，也将提高粘着系数；大雨后，由于钢轨表面的清洁，粘着系数将增加。

粘着系数与运行速度的关系：速度低时，由于轮轨间接触点的持续时间相对的要长一些，因而粘着系数较大；当速度提高后，由于机车振动和摇摆程度的加剧，使轮轨接触状态变坏，而致使粘着系数降低。

由理论分析和实践证明：因机车整备不良，牵引列车时翻车力矩的影响，或制动时，制动力的影响等造成的机车轴重不平衡，以及运行中动轮相对于钢轨不可避免地纵向或横向硬性滑动的存在，都将使粘着系数减小，而且速度愈高，这种影响愈大。

综上所述可知，影响粘着系数的因素不仅是诸多的，而且是随时随地变化的，因而不可能有一个准确的、包括诸多影响因素的计算公式来计算它，通常在解算机车运行问题时，所采用的计算粘着系数是由多次实验方法求出的，其数