

铁路中专试用教材

电力机车牵引计算

西安铁路运输学校

前 言

本书为铁路中等专业电力机车“牵引计算”课程的统编试用教材，也可作为铁路系统有关工程技术人员在工作和学习中的参考。本书编写的主要依据是83年1月1日实施的《列车牵引计算规程》。

本书在印刷过程中得到郑州铁路印刷厂的大力支持，他们在任务紧时间短的情况下赶排赶印，保证了86年春季教材的使用。郑州铁路机械学校的荆全成，高明伦老师以及李卓勋同志也给予了极大的帮助，在此一并致谢。

由于编者水平有限，加之编写和排印时间仓促，错误缺点一定不少，希读者提出批评和宝贵意见。

编 者

目 录

绪言.....	(1)
第一章 电力机车牵引力.....	(3)
第一节 机车牵引力的基本概念.....	(3)
第二节 粘着牵引力.....	(6)
第三节 牵引电动机牵引力.....	(12)
第四节 电力机车牵引计算标准的确定.....	(31)
第二章 列车运行阻力.....	(37)
第一节 列车运行阻力.....	(37)
第二节 基本阻力的分析.....	(38)
第三节 基本阻力的试验公式.....	(43)
第四节 附加阻力.....	(46)
第五节 列车阻力的计算.....	(52)
第三章 列车制动力.....	(57)
第一节 制动力概述.....	(57)
第二节 闸瓦摩擦系数.....	(61)
第三节 计算列车制动力的实算法.....	(64)
第四节 计算列车制动力的换算法.....	(70)
第五节 电阻制动.....	(80)
第四章 列车运动方程式.....	(89)
第一节 列车动态分析.....	(89)
第二节 合力计算及合力曲线.....	(90)
第三节 列车运动方程式.....	(95)
第四节 列车运行速度、时间和距离的关系式.....	(97)
第五章 列车运行速度和时间的计算.....	(101)
第一节 列车运行时间的计算法.....	(101)
第二节 列车运行速度和时间图解法的基本原理.....	(103)
第三节 用垂直线法计算列车运行速度和时间之例.....	(108)

第四节	绘制速度线的规定和区间运行时间的确定.....	(111)
第五节	线路纵断面的化简和折算.....	(115)
第六章	牵引重量的计算.....	(125)
第一节	概述.....	(125)
第二节	均衡速度算法.....	(126)
第三节	动能闯坡算法.....	(127)
第四节	按起动条件和车站到发线有效长检查牵引重量.....	(132)
第五节	按长大下坡道上制动机充风时间和空走时间检查牵引重量.....	(134)
第六节	按小半径曲线粘降检查牵引重量.....	(136)
第七节	牵引定数的确定.....	(138)
第七章	(略讲).....	(141)
第八章	耗电量的计算.....	(142)
第一节	区间供电量的计算.....	(142)
第二节	牵引区段耗电量的计算.....	(144)
第三节	机车每总重万吨、公里耗电量	(148)
第九章	列车制动问题的解算.....	(150)
第一节	空走时间和空走距离.....	(150)
第二节	制动距离的计算.....	(153)
第三节	计算有效制动距离的等效法.....	(158)
第四节	制动初速的解算.....	(161)
第五节	列车换算制动率的解算.....	(163)
第十章	牵引计算课程设计.....	(169)
附表 1	韶山 1 型电力机车牵引计算主要数据表	
附表 2	客货车主要车型的制动倍率、制动率参数表	
附表 3	速度线及时间线的绘图标记	
附表 4	线路纵断面及分界点标记	
附表 5	牵引电动机电流和速度关系表(韶山 1 型机车)	
附表 6	牵引电动机电枢热特性曲线数据表(ZQ—650)	
附表 7	有功电流、供电电流、单位时间耗电量与速度关系表(韶山 1 型机车)	
附表 8	有关量的名称、符号及计量单位表	
附表 9	主要量的单位及取值规定表	

绪 言

一、《牵引计算》的任务和作用

《牵引计算》是一门铁路实用科学，它的主要依据是：

- 1 理论力学的基本定律；
- 2 专门的机车、车辆试验；
- 3 先进的运用经验。

因此它的特点是理论与实践的紧密结合。《牵引计算》的任务是研究直接影响列车运动的各种力和列车的运动规律，从而解算一系列与列车运行有关的重要问题，如：

- 1 按线路纵断面和机车类型确定列车重量；
- 2 确定列车各区间的运行速度和时间；
- 3 按列车的制动能力，确定下坡道的最高允许速度或制动距离；
- 4 根据牵引重量和列车运行速度和时间确定机车能耗量。

列车重量、列车运行速度和时间、机车能耗量等指标，在营业线路上是编制列车运行图的主要依据，是铁路运输成本的重要组成部分；在铁路设计上是决定设计方案的基本资料，如线路纵断面的选择、机务段和牵引变电所的配置位置、车站有效长的确定等。此外，机车功率和参数的选择以及效率的发挥；车辆结构的改进和决定减少阻力的措施；机车、车辆制动机性能的研究以及一些规程、设计规范中有关条文的制定等都应用到《牵引计算》的有关知识。

由此可见，《牵引计算》是铁路许多部门中工作的技术管理人员特别是机务、运输和铁路设计工作者，必须学习和掌握的一门科学。

《牵引计算》的内容分成两大部分，前部分主要研究牵引力、阻力和制动力的产生、影响因素及改进的措施，并推导这些力与列车运动的关系，即列车运动方程式。后部分提出列车运行速度和时间、牵引重量、能量消耗和制动问题的解算方法。为了能更全面掌握本门课程的内容及培养解算问题的能力（计算和绘图能力）本门课设有课程设计。

二、《牵引计算》的发展概况

将《牵引计算》作为一门专门学科在我国是在解放后才开始的。《牵引计算》必须以机车、车辆的各种试验为基本资料，所以在1951年就修复了大连机车定置试验台，并在该台上对解放型等蒸汽机车进行了全面的牵引热工试验，这是我国机车性能试验的开始。1956年10月在北京东郊兴建了环形试验线，成为我国铁道科学试验基地。其后，各种试验车的数量不断增加，技术装备不断更新，现在有许多铁路局也都配备动力

试验车，可以配合铁道科学研究院或独立完成一些专题试验。在解放后三十多年来铁道科学研究院先后组织了许多试验小组对各种类型的机车进行了牵引试验；对机车、车辆进行了各种阻力试验和制动试验。另外还有许多专门试验，如闸瓦摩擦系数试验、粘着系数试验等。通过试验积累了许多科研资料，为发展铁路事业起了重要作用，也为《牵引计算》的发展打下了基础。由于《牵引计算》内容庞杂，一些问题的解算需要进行大量的计算和绘图工作，在今天电子技术已普遍运用在各个科学和生产领域的时候，《牵引计算》也将很快地利用电子计算机进行各种问题的解算。

目前在《牵引计算》中还有许多急待解决的理论问题和专题试验，例如粘着理论和粘着系数的试验、闸瓦材质的研究和闸瓦摩擦系数试验以及曲线阻力、起动阻力、隧道空气阻力的试验等。另外在问题的解算方法和精确度方面还存在不少问题。这些都将随着铁道科学技术的不断发展、实际运用经验的不断积累逐步得到解决。

三、《列车牵引计算规程》

铁道部颁布的《列车牵引计算规程》是进行牵引计算的主要依据，它规定了问题的解算方法和原则，提供了有关技术数据和标准，铁路系统各部门都应该执行这一规程。铁路运输工作水平在很大程度上决定于《牵规》中标准制定的正确性和科学性。

在1957年我国首次颁布了《蒸汽机车牵引计算规程》，在铁路运营、设计中起到了重要作用。随着国民经济的发展和科学技术的不断提高，我国牵引动力已由单一的蒸汽牵引发展为电力、内燃、蒸汽三种牵引并举；新型客货车辆相继出现、制动技术不断改进；线路质量、行车调度、通信信号都有较大改善，因此57年《牵规》已远远不能适应我国铁路的实际需要。铁道部于1983年1月1日颁布了新的《列车牵引计算规程》，这部新《牵规》的有关内容已贯穿在本教材中。新《牵规》的颁布显示了《牵引计算》这门科学又大大向前迈进了一步，它将对铁路运输的发展起一定的作用。

今后，《列车牵引计算规程》必须定期审查修改，不断补充新型机车的试验资料、新的研究成果、新的计算方法，更好的推动铁路运输的发展。

在《牵引计算》中由于涉及的物理量及代表符号很多，为了统一及便于书写、阅读和记忆，在《牵规》中规定采用一定的符号代表一定的物理量，并确定主要量的单位和取值标准。见附表8和附表9。

第一章 电力机车牵引力

第一节 机车牵引力的基本概念

一、作用于列车上的外力

从理论力学的基本定理可知，只有在外力作用下，物体的运动状态才能发生变化，因此在《牵引计算》中我们不讨论内部力的变化和大小，只研究促使列车运动状态发生变化的外力。

当列车在钢轨上运动时，作用在列车上的外力是多方面的，有些不直接影响列车运动状态，例如与轨面垂直的外力。这里所要研究的是直接影响列车运动的外力，即与列车运行方向相平行的牵引力 F 、阻力 W 和制动力 B 。

在《牵引计算》中主要讨论这些力的产生、影响因素、变化规律、计算方法和公式，从而了解如何使这些力增加或减少，并作为解算有关牵引和制动问题的基本资料。

列车运行时，上述各种力并不同时作用于列车。

在牵引工况时：有牵引力和阻力；

在惰行工况时：仅有阻力；

在制动工况时：有阻力和制动力。

牵引力、阻力和制动力的单位是（公斤力）但在经验公式以及合力表的计算中往往采用单位值，即平均在每吨列车重量上的力。

列车单位牵引力：

$$f = \frac{F}{P + G} \quad (\text{公斤力/吨}) \quad (1-1)$$

列车单位阻力：

$$\omega = \frac{W}{P + G} \quad (\text{公斤力/吨}) \quad (1-2)$$

列车单位制动力：

$$b = \frac{B}{P + G} \quad (\text{公斤力/吨}) \quad (1-3)$$

式中 P ——机车计算重量（吨），

G ——牵引重量（吨）。

《牵规》中规定，以上三种力，不论其实际是发生在什么地方，都按算到轮周上的值来进行分析和计算。

二、机车牵引力的形成

机车牵引力是列车前进的动力，它是与列车运行方向相平行的，并可由司机根据需要来控制其大小的外力。

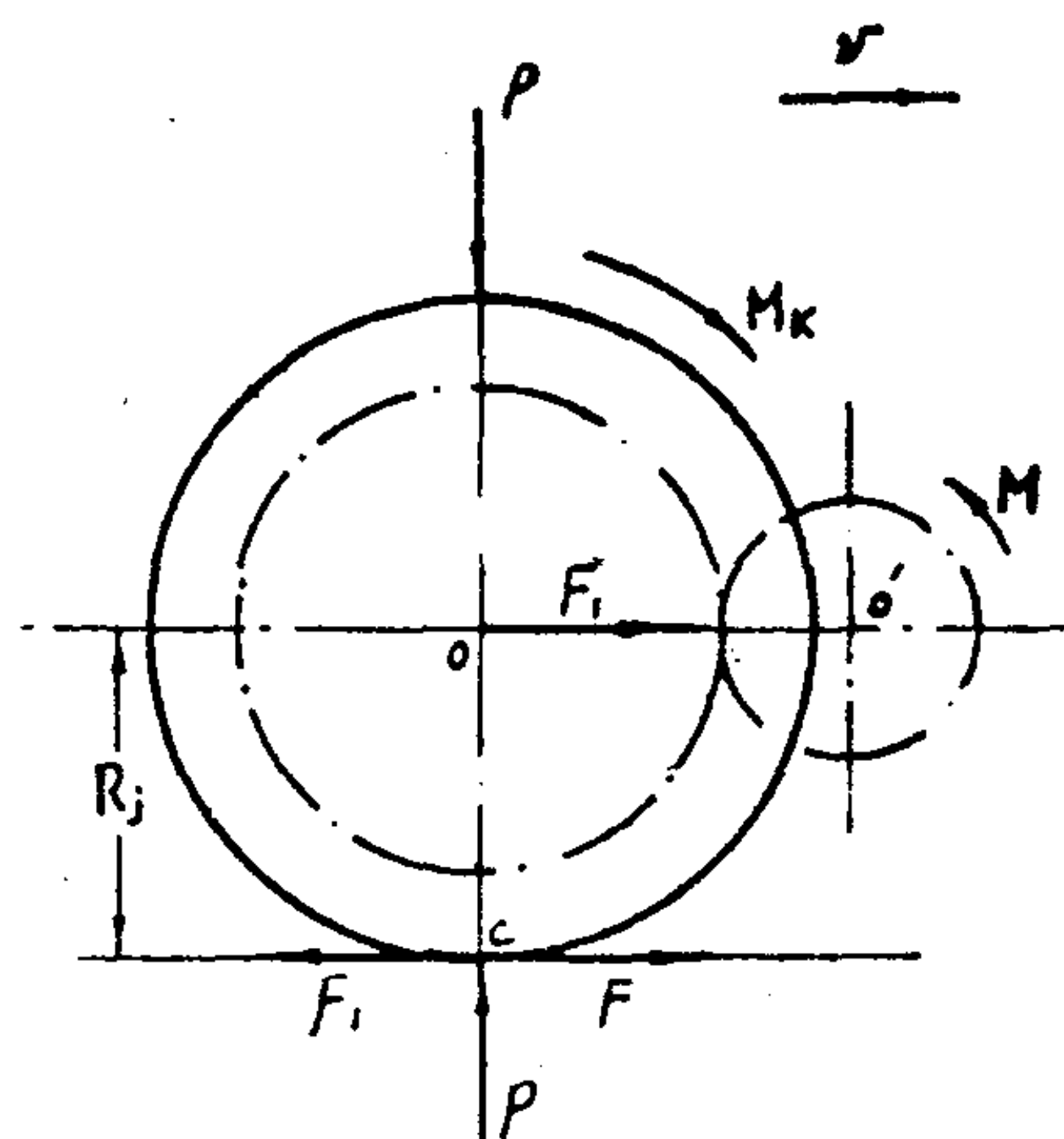


图 1—1

机车牵引力的形成

F_1 传给钢轨，而钢轨就产生一个与所受作用大小相等，方向相反的反作用力 F 于动轮轮缘上。力 F 实际上是由于 C 点存在粘着而产生的粘着力（摩擦力）。

如以车轮为分离体，在任一瞬间， C 点的作用力是平衡的，轮轨间没有相对滑动，从力学可知， C 点即是动轮沿钢轨滚动的瞬时中心。由于 C 点力的平衡，才释放出作用于动轮中心点的力 F_1' ，这个力使动轮绕瞬时中心 C 点转动，同时使动轮轴箱压紧于转向架的构架，并通过机车车架将此力传至车钩，而使整个列车运动。显然，力 F 是钢轨作用于机车上可利用的唯一外力，正由于它的存在才能使机车向前运动。因此，通常不把力 F_1' 而把钢轨作用于动轮轮缘的反作用力 F 称为轮周牵引力，即机车牵引力。

可以想象，如轮轨间不存在粘着（摩擦），而把机车吊离钢轨，当动轮得到牵引电动机传过来的转矩 M_k 时，动轮只能绕中心旋转，而不能使机车前进，因为此时内力矩没有条件转变而获得外力。这与人在光滑的表面上难以行走、船撑杆如支撑在自己船上不能使船前进这些最简单的现象是同样的道理。

同机车牵引力的形成相似，列车制动力也是由于轮轨间粘着关系而产生的外力。

对于电力机车，当牵引电动机通入电流后，在它的电枢上就产生转矩 M ，这个转矩借助于齿轮传动装置传递到动轮上，但这个动轮上的驱动转矩是内力矩，只能使车轮发生旋转运动而不能使机车发生平移运动。要使机车运动，必须有对机车来说的外力。

图 1—1 所示为机车一个动轮。机车通过轮对将重量 P （包括轮对自重）压在钢轨上，通过轮轨接触点 C ，有一个车轮对钢轨的正压力，使车轮和钢轨紧压在一起，形成了轮轨接触点的“粘着”。

作用在动轮上的转矩，可以用作用在 C 点（粘着点）和 O 点（动轮中心）的一对力偶来代替，其力的大小为 F_1 和 F_1' ，力臂为动轮半径 R_j 。力 F_1 作用在轮轨接触点 C 上企图推钢轨，即作用于 C 点的力

三、各种牵引力的概念

(1) 按能量转变过程而分的牵引力

任何机车都可以看作是把输入其中的能量转换为牵引力外功的一种工具。因此机车一般都有几个能量交换阶段，并相应地有几个变能部分。电力机车的电能是由牵引变电所供给，可以认为它的容量是足够大的，电力机车牵引力的发挥不会受牵引变电所电能供给者的限制。进入机车的单相交流电经过变压整流后输入牵引电动机，将电能转变为带动动轮转动的内机机械功，然后借助于轮轨间的粘着转变为动轮周上的外力。因而电力机车牵引力将要受到牵引电动机和轮轨间粘着这两个变能部分工作能力的限制。对应这两个限制，电力机车的牵引力可分为：

1 牵引电动机牵引力：即按牵引电动机的功率所能得到的牵引力。

2 粘着牵引力：由于轮轨间的粘着条件只能把一定的内力转变成外功，因此，机车按粘着条件所能实现的最大牵引力称为粘着牵引力。

在机车设计中，以上两部分变能者的工作能力必须适当配合。如牵引电动机能力过大而超过粘着能力，则牵引电动机功率不能充分发挥，机车真正能实现的牵引力是按粘着能力得到的粘着牵引力。反之，如牵引电动机的牵引力较粘着牵引力为小，则机车牵引力受牵引电动机能力的限制，机车能实现的牵引力为牵引电动机牵引力。总之，对于在不同条件下机车真正能实现的牵引力最小值为以上二种牵引力的小者。

(2) 按机车外机械功传递过程中的作用点而分的牵引力

1 轮周牵引力：就是实际作用在动轮踏面上的钢轨对车轮的反作用力。当牵引力受牵引电动机能力限制时，轮周牵引力即牵引电动机牵引力。反之，如牵引力受粘着条件限制时，轮周牵引力为粘着牵引力。例如韶山1型机车 $v = 50$ 公里/小时，粘着牵引力为36450公斤力而牵引力电动机在33m满磁场时其牵引力为17600公斤力这种条件下，轮周上得到的轮周牵引力为牵引电动机牵引力其值是17600公斤力。

2 车钩牵引力：机车运行时，为克服机车本身基本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，因此，传到机车后钩牵引车列的车钩牵引力 $F_{\text{钩}}$ 为在平直道上等速运行时：

$$F_{\text{钩}} = F - W_{\text{基}}' \quad (\text{公斤力}) \quad (1-4)$$

式中 $W_{\text{基}}'$ ——机车总基本阻力（公斤力）

机车在坡道或曲线上运行时，公式（1—4）中还需减去附加阻力。加速运行时，部分牵引功耗用于增加机车动能，所以车钩牵引力将减小。反之，车钩牵引力将增大。

根据《牵规》第5条规定，我国仍沿用过去的习惯在进行牵引计算时，应按轮周牵引力作为计算标准，这是因为车钩牵引力还要与线路纵断面的情况以及列车运动状态有关，计算时很不方便。

第二节 粘着牵引力

一、粘着定律及粘着牵引力

从牵引力的形成过程可知，牵引力的产生是由于轮轨间的粘着，它是任何滚动运动的基础，是机车、车辆赖以运行和停止的基本物理现象，它关系着牵引和制动功率的发挥和利用。为此对这个重要的基本概念要有一个较深刻的认识。

当两物体的接触面有相对滑动趋势但仍保持相对静止时，沿接触表面产生的切向阻力称为静摩擦力。静摩擦力的大小和方向决定于物体上的主动力。如图1—2所示，物体在主动力 T 的作用下，其摩擦力 F 可根据平衡条件得到。

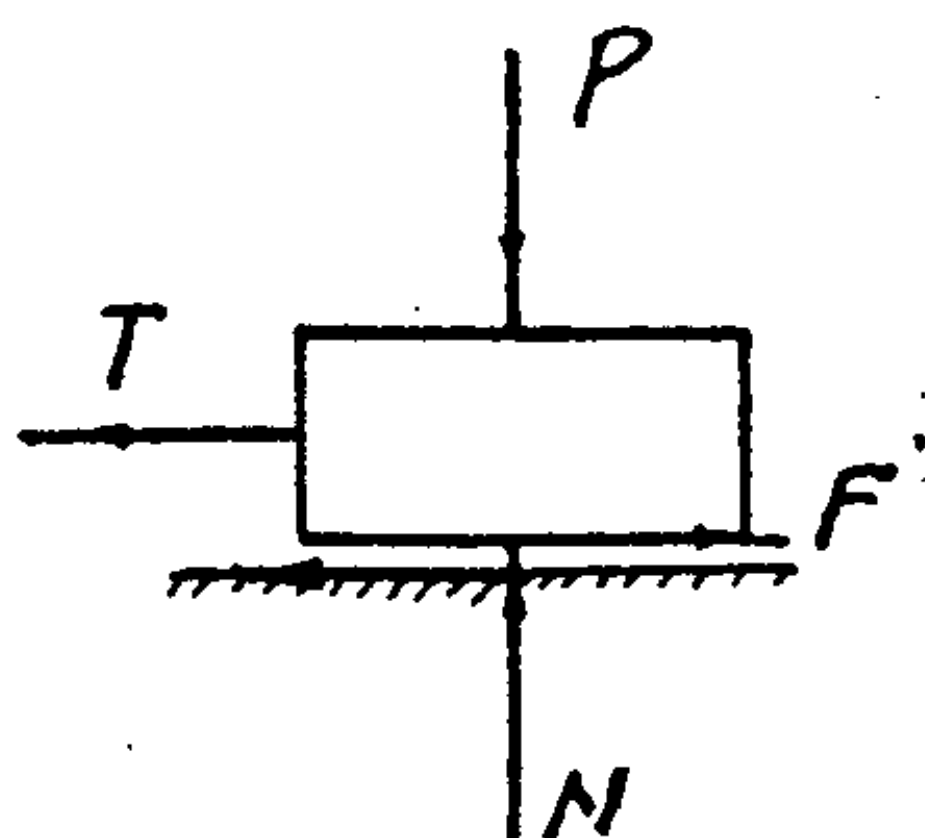


图1—2

物体之间的摩擦

$$F_{\max} = f \cdot N$$

(1—5)

式中 f 是比例常数，称为静摩擦系数。

当主动力 T 超过 $F_{\max}$ 时，这时物体不能保持静止状态而发生相对滑动，接触面的摩擦力成为滑动摩擦力。

摩擦是很复杂的物理现象。目前一般认为摩擦产生的主要原因是由于两物体接触面的凹凸不平，它们相互挤压和啮合，以及两接触面的分子间的内聚力或附着力。当物体加上主动力时，物体表面的凹凸不平处发生弹性变形以及物体分子间相互作用力平衡了外加的主动力。虽然表面上看来物体是静止不动的，但实际上却有着很小（微观）的位移，当外力除去后，位移即消失为零。这种位移称之为弹性位移。

随着主动力 T 的增加，弹性位移也增大。当主动力增加到使弹性位移超过极限值时，静摩擦被破坏而进入滑动阶段，这时，物体之间产生硬性位移，即使外力除去后，硬性位移也不会消失。

机车轮轨间的粘着与上述摩擦的基本概念是一致的，但由于车轮在钢轨上高速滚动时伴随着振动以及其它方面的滑动现象，这就使轮轨接触点的粘着问题变得更为复杂。因而粘着又与物体间的静摩擦又有所区别。

轮轨间的粘着也有一个极限值。在粘着极限的范围内，牵引力的大小决定于主动力（主动力决定于内力矩 M_t ）。见图1—3

当车轮作用于钢轨的主动力为 F_1 时，钢轨对车轮的反力即牵引力 $F_{\text{I}} = F_1$ ；

当其主动力为 F_2 时，其牵引力 $F_{\text{II}} = F_2$ ；

当主动力的值达到粘着的极限值为 F_3 时，其牵引力 $F_{\text{III}} = F_3 = \text{粘着极限值}$ 。这就是机车所能得到的最大牵引力。

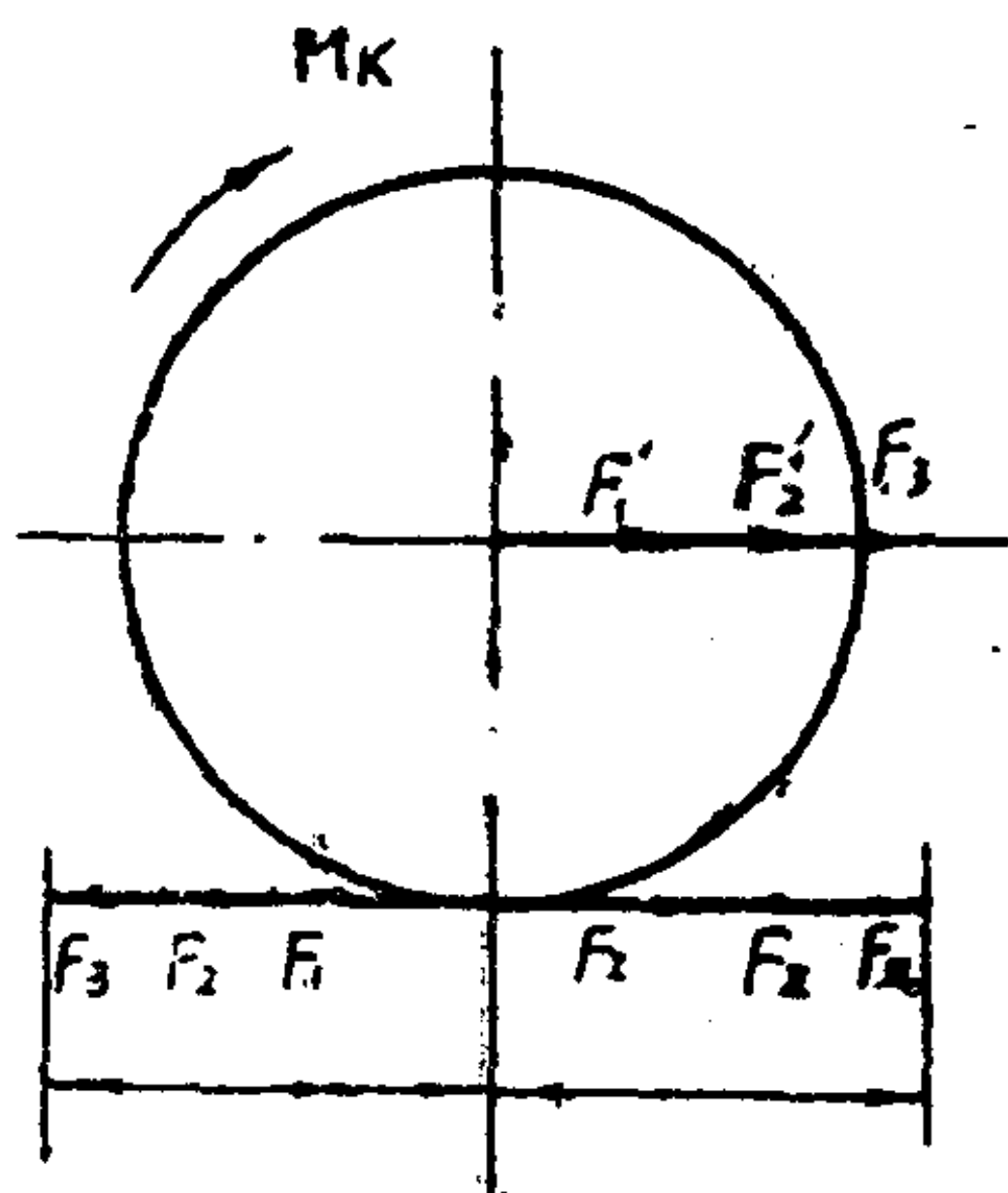


图 1—8

粘着对牵引力的限制

如果再继续增大内力矩 M_k ，使主动力超过轮轨间粘着极限值时，轮轨间粘着被破坏，动轮得不到足够的水平支持力，而不能维持车轮的正常滚动，接触点 c 产生相对滑动，由静摩擦变成滑动摩擦，这时钢轨对车轮的反作用力变成滑动摩擦力而成为牵引力，其值急剧下降，这是由于滑动摩擦系数较小的缘故。很明显，由于在接触点力不能被平衡，动轮即绕轴心转动而发生空转。

为使机车动轮不发生空转，必须把内力矩 M_k 的主动力 F_1 控制在粘着极限的范围内，因而得到下列一条很重要的定律——粘着定律：

机车真正能够实现的牵引力，不可能超过轮轨间粘着的极限值。

$$\text{粘着极限值} = \mu_j P \mu$$

式中 μ_j ——轮轨间的计算粘着系数；

$P \mu$ ——机车的粘着重量。即所有动轴荷重之和 (t)

电力机车的轮对都是动轮对，其粘着重量就是机车总重。韶山 1 型机车

$$P \mu = 138 \text{ (t)}$$

由此，粘着定律可用下式表示

$$F_1 \leq \mu_j \cdot P \mu \text{ (吨力)} \quad (1-6)$$

这也就是机车动轮不发生空转的条件。

机车动轮空转，其危害性是很大的，首先由于粘着的破坏，牵引力下降，延长运行时间，造成列车晚点，严重时甚至发生坡停事故。另外使机车动轮踏面和钢轨表面擦伤，并由于车轮转速可达到很高，发生强烈震动，使机车走行部受到损坏，影响使用寿命，当超过牵引电动机最大转速时，还可能造成电机环火、击穿绝缘或甩绑线等严重事故。

一旦发生空转，应降低控制手柄级位，减少转矩 M_k ，使主动力恢复到粘着定律所限制的范围内，以制止空转。

按 (1—6) 式，机车按粘着条件所能实现的最大牵引力值为粘着极限值，称之为粘着牵引力 F_{μ} ，即

$$F_{\mu} = 1000 \mu_j P \mu \text{ (公斤力)} \quad (1-7)$$

粘着牵引力是牵引力的限制值，并不一定是实际的实现值。近代由于电机制造水平不断提高，牵引电动机功率可以按需要增加，因而机车牵引力（尤其是在低速时）的充

分发挥往往不受牵引电动机的限制而受限于粘着牵引力。

如何提高粘着牵引力，应从粘着系数和粘着重量这两方面进行分析研究。

二、粘着系数

从物理概念上，轮轨间的粘着系数和两接触面间的静摩擦系数是一致的，但不能认为粘着系数就等于静摩擦系数。当压力与接触表面状况一定时，静摩擦系数是一定值。但是车轮滚动时的粘着系数还与很多因素有关。

影响粘着系数的主要因素有：

1 接触面的状态。动轮踏面与钢轨表面愈平整，机车运行时，接触点的振动愈小，则粘着系数就愈大。天气对粘着系数影响很大，潮湿有雾的天气或是微雨的时候粘着系数下降；但在下大雨钢轨被彻底清洗之后，粘着系数却增大。钢轨上有薄冰，粘着系数下降，但钢轨上有薄锈时，或是轨面上撒砂后，粘着系数增加。当钢轨或车轮踏面粘有油垢时，粘着系数减小。

2 车轮滚动时伴随的滑动现象。车轮在滚动时，其轮轨接触点伴随有滑动现象。这是由于列车的蛇行运动、车轮踏面的斜度、动轮直径不等、曲线内外径不等原因所造成。这种伴随的滑动现象要降低粘着系数。

3 运行速度。运行速度增大时，加剧了机车震动，并增加了车轮滚动时伴随的滑动现象，轮轨接触状态变坏，因而粘着系数下降。运行速度低时，机车震动减弱，并由于轮轨接触时间相对长些，因而粘着系数大。

三、轴重转移等对粘着牵引力影响

机车的粘着重量是个定值，在静止状态下，通过弹簧装置传给转向架各轴的重量是均匀的。但在牵引和制动工况时，各轴的重量发生了变化，有的增加，有的减少，这称之为轴重转移。

轴重转移主要是由于牵引力（或制动力）而引起的，其原因是力在传递过程中，其传力点的高度不同，而产生了附加力矩。

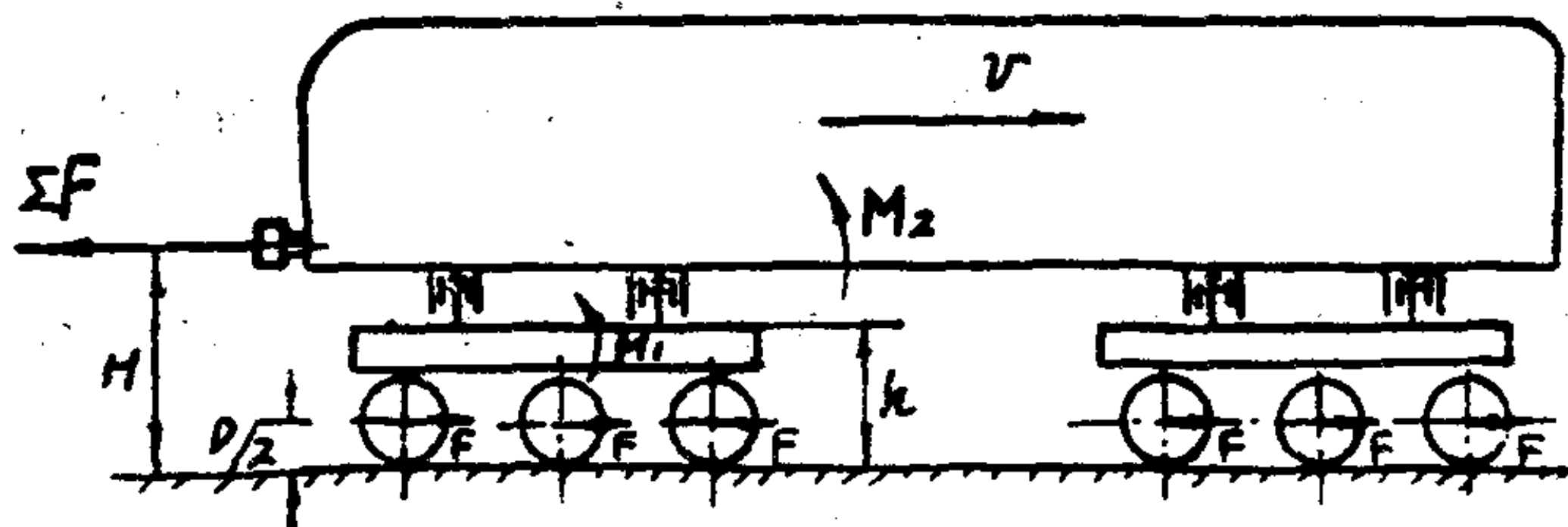


图 1—4

牵引力传递过程中所产生的附加力矩

从图 1—4 可以看出, 轮周牵引力经轴箱传给转向架构架, 其作用点的高度为动轮半径, 即 $\frac{D}{2}$, 而转向架构架将力传至车体底架, 其作用点高度为 h , 因而产生附加力矩为 M_1 。

$$M_1 = \sum F \left(h - \frac{D}{2} \right)$$

此附加力矩将使转向架的前轴减载而后轴增载, 中间轴重变化不大。

当车体底架将牵引力传给车钩时, 其作用点的高度为 H , 产生的附加力矩 M_2 为

$$M_2 = \sum F (H - h)$$

此附加力矩将使前转向架减载而后转向架增载。

这样, 在牵引力传递过程中所引起的轴重转移是第一轴减载最大, 第六轴增载最大。以上分析是假设列车等速运行并忽略了机车本身的阻力。

除此之外, 轴重转移还与牵引电动机的布置方式、弹簧悬挂的结构、机车各处的磨损情况以及线路状态有关。

轴重转移后, 可出现这种情况, 在其它动轮都没有达到粘着极限时, 某一动轮由于轴重降低最大其主动力超过极限值, 首先发生空转, 这时就不得不降低所有牵引电动机的内力矩。也就是一个动轮的减载将限制其它动轮充分利用粘着, 从而影响了整台机车牵引力的发挥。

在用 (1—7) 式计算粘着牵引力时, 一般把粘着重量作为定值, 而用粘着系数下降来反映轴重转移对粘着牵引力的影响。

机车牵引力的不均匀性及机车动轮直径不等, 也会产生与轴重转移对牵引力同样的影响, 这些也都认为是粘着系数下降了。因为一台机车的各牵引电动机特性不可能完全相同, 因而在各轮对上所得到的内力矩也不同, 当某一轮对的主动力 F_1 已超过粘着极限值而发生空转时, 其它轮对并不一定达到极限值, 这样就限制了整台机车牵引力的充分发挥。

四、计算粘着系数的计算公式

为了计算方便, 一般把粘着系数的降低, 轴重的转移, 以及其它一些影响粘着牵引力的因素, 统归到由粘着系数反映出来。这样粘着系数只能通过试验得到, 称为计算粘着系数 μ_j 。

计算粘着系数 μ_j 是机车能够实现的最大粘着牵引力 $F_{\mu \dots}$ 与机车粘着重量 P_{μ} 之比, 也就是利用公式 (1—7) 反求出来的。

$$\mu_j = \frac{F_{\mu \dots}}{P_{\mu}} \quad (1-8)$$

在试验过程中, 可按不同条件通过动力计测出 $F_{\mu \dots}$, 再根据式 (1—8) 的关

系得到许多 μ_j 值, 最后通过整理修正得出计算粘着系数的试验公式。

《牵规》中规定的电力机车计算粘着系数的计算公式为

$$\mu_j = 0.24 + \frac{12}{100 + 8v} \quad (1-9)$$

式中 v ——运行速度 (公里/小时)

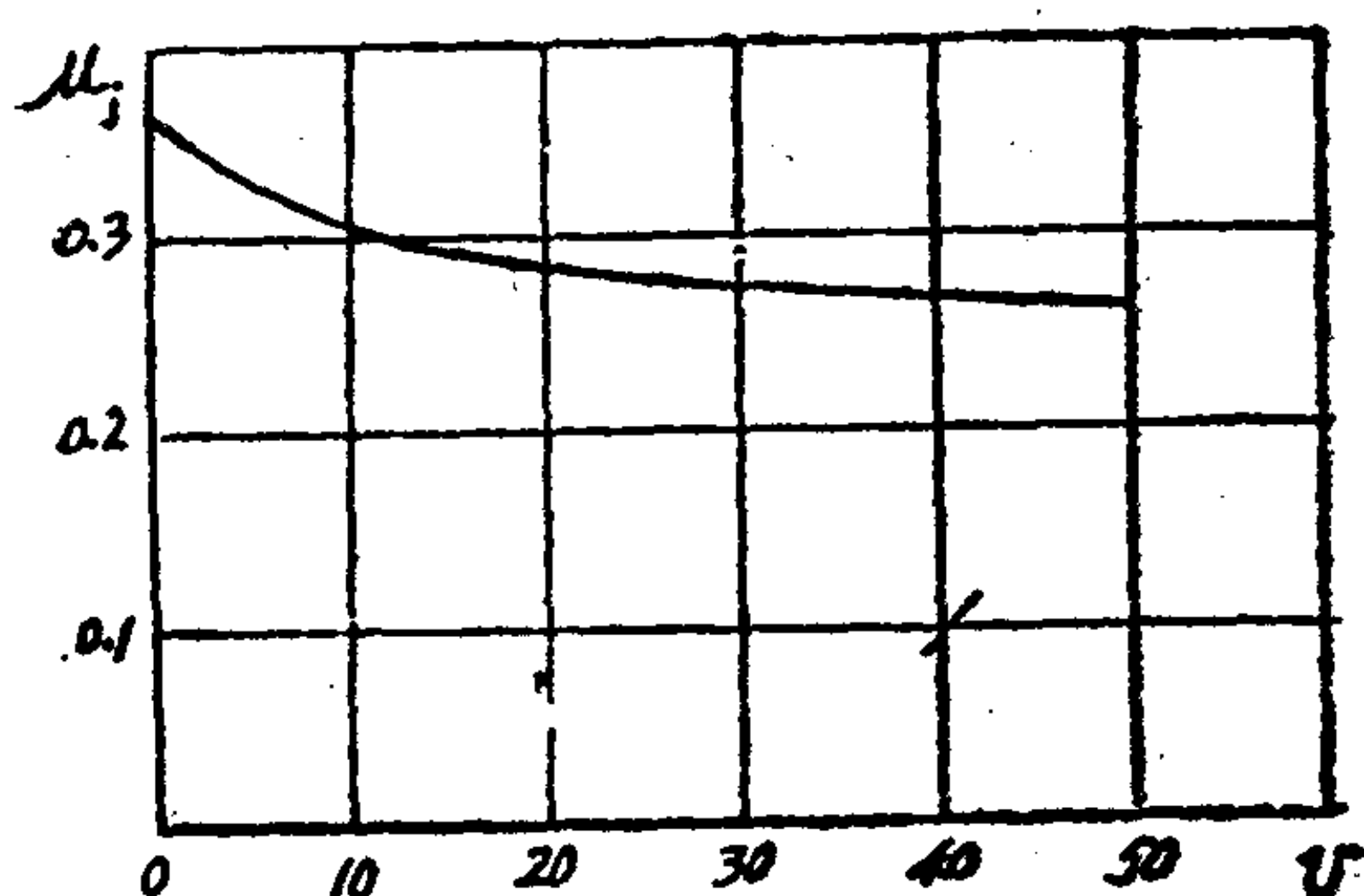


图 1—5

电力机车计算粘着系数曲线

电力机车计算粘着系数表

$$\mu_j = 0.24 + \frac{12}{100 + 8v}$$

表 1—1

V	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
μ_j	0.36	0.326	0.307	0.295	0.286	0.280	0.275	0.272	0.269	0.266	0.264

μ ——静摩擦系数;

μ_j ——计算粘着系数;

φ_j ——滑动摩擦系数。

我们可以用图 1—6 将轮轨间的静摩擦系数、计算粘着系数和滑动摩擦系数进行示意性比较可以看出只有在机车速度接近为零时, 计算粘着系数 μ_j 才能与静 μ 数接近而当机车发生空转时, 滑动摩擦系数 φ_j 代替了 μ_j , 这时能实现的牵引力将大大下降。

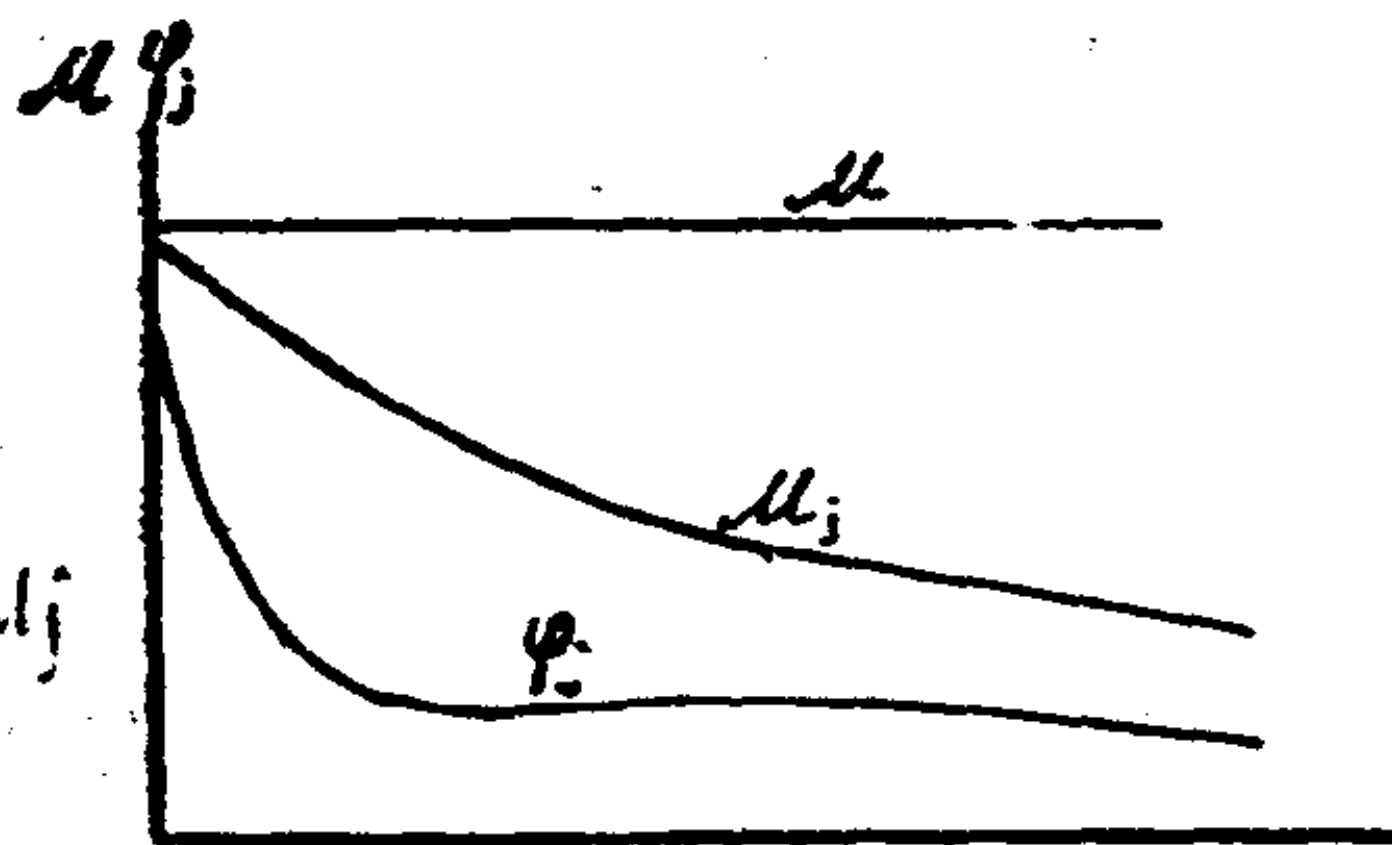


图 1—6

轮轨间摩擦系数比较图

机车在曲线上运行时, 由于运动的不稳定性, 以及内外动轮所走的距离不同, 轮轨间的滑动现象比在直线上运行严重, 粘着系数下降。经过试验, 当曲线半径小于 600 米时, 对粘着系数的影响较大, 计算时必须考虑。其粘着系数 μ_r 按下式进行计算。

$$\mu_r = \mu_j (0.67 + 0.00055 R) \quad (1-10)$$

式中 R ——曲线半径 (米)。

隧道内由于通风不良和漏水，一般轨面较湿较脏，因此引起隧道内机车粘着系数降低，降低的百分率可参照下表。

表 1—2

隧道长度 (米)	401~1000	1001~3000	3001~5000	>5000
粘着系数降低值 (%)	5	10	15	20

五、提高机车粘着牵引力的措施

以往，轮轨间的粘着问题并不引起重视，因为粘着能力能满足牵引力的正常发挥。近年来，随着电力、内燃牵引的发展，机车功率不断加大，粘着问题已经成为低速和中速运行时限制牵引力、制动力的关键问题。为此除了在理论上对轮轨间的粘着进行探讨研究，在实际运用中要掌握机车动轮空转规律，采取预防措施以提高粘着系数，并使粘着重量充分利用。其具体措施如下。

（1）改善轮轨接触面状态，以提高粘着系数。

1. 撒砂：这是我国目前广泛采用的提高粘着系数的方法。为了得到预期的效果，必须使用质量良好的砂子，砂子要干燥，颗粒要均匀，优质砂内的粉末不能超过 5%，另外要保持正确的砂管位置和掌握好撒砂时机。

在早晨钢轨上有一层露水或薄霜时，列车在车站起动后，经过道岔或道口，由于振动或轨面污脏时由于粘着系数下降而易发生空转。当列车在起动以及运行在困难坡道上，机车为克服较大的阻力而发挥很大的牵引力，极易超过粘着的极限值易发生空转，尤其是在困难坡道上有曲线或困难坡道正好在隧道内，空转更易发生。对这些易发生空转的处所，机车乘务员要掌握好撒砂时机。当机车动轮发生空转，撒砂只会加剧车轮磨损。撒砂在高速行车时效果较差，因为砂子不能成功的撒在轮轨之间；在有霜、降雪、落叶和相当厚的油垢情况下，撒砂效果很小，甚至可能无用。

2. 利用化学除垢剂、电弧燃烧、金属刷、蒸汽和水喷射等方法，除去轨面油垢，以提高粘着系数，这些方法目前我国还未采用。

（2）提高机车走行部分质量以充分利用粘着重量。

1 机车走行部分要保持良好技术状态。要尽可能使所有的动轮具有相同的轮径，保持弹簧装置的良好状态，使各动轴具有均衡的荷重。

2 保持机车走行部分的清洁，特别注意调正好轮缘喷油器的喷头角度，以防止将油喷到动轮踏面上。

3 在设计新机车时，应合理选择牵引电动机的布置方式，降低牵引点高度，减少簧下重量以减少轴重转移，提高粘着重量的利用率。把多台电动机在机械上连结起来以降

低空转的可能。采用牵引电动机的无级控制，使牵引力变化均匀。

制动装置

(3) 加装空转保护装置

目前韶山1型机车，司机只能根据电流表和速度表的急剧下降和急剧上升来判断机车动轮的空转。当空转发生后，撒砂已不起作用，只能用手动降位来降低机车牵引力以抑制空转，待空转制止后，再行撒砂，以增大粘着系数。

国外在早些时候已开始研究在机车上加装空转保护装置，使机车在空转刚刚发生时就能检验出来，并能自动采取措施消除空转，以保证机车的正常运行。目前我国在这方面也开始进行研究。

第三节 牵引电动机牵引力

电力机车按能量转变过程可分为牵引电动机牵引力和粘着牵引力，在大多数情况下，粘着牵引力仅是牵引力的限制值，因而在粘着极限值的范围内，机车在轮周上真正实现的牵引力决定于牵引电动机输出功率，也就是牵引电动机牵引力。

对一台机车来说，只有在特定条件下，才能充分发挥其功率。在不同工作条件下其功率发挥情况主要决定于机车的牵引特性。机车的牵引特性包含较广泛的内容，其中机车牵引电动机牵引力和速度变化规律是表示机车工作能力最重要的特性，也是进行牵引计算的重要依据。机车牵引特性的决定因素很多，但是从根本上确定和影响的仍是牵引电动机本身的工作特性。

一、直流电力机车的牵引特性

目前我国整流器式电力机车采用的是脉流牵引电动机，其脉动电流包括一个直流分量和一个交流分量，因为直流分量所占的成份是主要的，所以无论在结构上还是工作特性方面，基本上和直流电动机是一样的，在牵引特性的定性分析中，脉流牵引电动机往往利用直流牵引电动机的特性公式。

(1) 机车速度特性

不论是那种激磁方式的直流电动机，它的转速公式为

$$n = \frac{U - I_a \Sigma R}{C_e \phi} \quad (\text{转/分}) \quad (1-11)$$

式中 U ——电机端电压 (伏)；

I_a ——电枢电流 (安)；

ΣR —— 电动机电枢电路中的总电阻 (欧)

ϕ —— 电机主极每极有效磁通 (韦伯);

C_e —— 电机结构常数, 它仅与电机本身有关, 对于已制成的电机, C_e 值是不变的。

$$C_e = \frac{P \cdot N}{60a} \quad (1-12)$$

其中 P —— 电机极对数;

a —— 电枢绕组支路对数;

N —— 电枢导体数。

由式 (1-11) 可以看出, 电动机转速 n 随电枢电流 I_a 的变化而变化。对于串激电机来说, 其激磁电流和电枢电流是相同的, 当 I_a 增加时, 不但 $I_a \Sigma R$ 增大, 当在电机磁路不饱和的条件下, 磁通 ϕ 也增加, 这样将使转速 n 急剧下降。此后, 随着电流不断增加, 电机磁路亦趋饱和, 电机转速下降趋势变缓。图 1-7 中 n 线示意其变化规律, 即转速特性曲线。

根据电动机的转速特性, 可推导出机车速度特性 $v = f(I_a)$ 的关系式。

机车速度 v , 即机车轮周上的线速度与电动机转速 n 成正比, 其关系如下

$$v = \frac{60 D \pi}{1000} n_k$$

式中 n_k 为机车动轮转速 (转/分), 将 $n_k = \frac{n}{\mu_c}$ 代入上式得

$$v = \frac{60 \pi D}{1000} \frac{n}{\mu_c}$$

$$= \frac{D}{5.3 \mu_c} n \quad (\text{公里/小时}) \quad (1-13)$$

式中 D —— 机车动轮直径 (米);

n —— 电动机转速 (转/分);

μ_c —— 齿轮传动比; $\mu_c = \frac{n}{n_k}$ 。

将式 (1-11) 中的 n 值代入, 即得

$$\begin{aligned} v &= \frac{60 \pi D}{1000 \mu_c} \frac{U - I_a \Sigma R}{C_e \phi} \\ &= \frac{U - I_a \Sigma R}{C \phi} \end{aligned} \quad (1-14)$$