

87.17-

78253

MIC

内燃机车电力机车

牵引计算学

內燃機車電力機車 牽引計算學

梅志存 編譯

人民鐵道出版社

一九六二年 北京

本书研究了內燃機車和电力機車的牽引性能、列車运行阻力、制动力、列車运动方程及其解法，闡述了牽引重量、列車运行速度、运行时间及电能和燃料消耗量的主要計算方法，簡單介紹了機車牽引热工試驗和功能試驗的方法。

本书可供鐵路系統机务、运输、設計部門的工程技术人员参考与学习，并可作为铁路运输中等专业学校及铁道学院“牽引計算課程”的教学参考书。

內燃機車电力機車牽引計算学

梅志存 編譯

人民铁道出版社出版

(北京市霞公府17号)

北京市书刊出版业营业許可証出字第 010 号

新华书店北京发行所发行

人民铁道出版社印刷厂印

书号1881 开本 $850 \times 1168 \frac{1}{32}$ 印张 $11 \frac{9}{16}$ 插页 2 字数 342 千

1962年9月第1版

1962年9月第1版第1次印刷

印数 0,001—600册 定价 (10) 2.00 元

前 言

牵引计算学是铁路运输的一门实用科学。它是铁路中许多部门工作人员，特别是机务、运输和设计工作者，必须学习和掌握的一门科学。

在中国共产党的英明领导下，我国的铁路事业以前所未有的高速度在发展。近几年来，在铁路牵引动力方面，除采用大功率新型蒸汽机车及进行旧型蒸汽机车的技术改造外，还在逐步发展内燃机车和电力机车。这种客观情况要求列车牵引科学迅速适应形势发展的需要。为此，我国铁道科学技术工作者正在积极进行相应的试验研究工作。与此同时，介绍苏联在这方面的有关著作，将会有助于我国铁路工作者和有关学员们尽快地学习和掌握这门科学。

本书是根据苏联书籍文献编译的，主要取材于苏联国家铁路运输出版社1959年出版的，由功勋科学家O. H. 伊萨克扬教授和技术科学博士П. A. 古尔斯基教授合著的《牵引计算学》，采用了其中有关内燃机车和电力机车的大部分材料，并参考和引用了一些苏联的其他有关书籍和文献。上述俄文原版《牵引计算学》是按照苏联交通部教育总局批准的铁路运输中等专业学校《牵引计算学教学大纲》编写，作为教科书出版的；书中特别注意到列车牵引基础理论的阐述。

由于编译水平的限制，编译内容不免有错误和缺点，欢迎各方面的批评、指正和建议。

编译者

1962年于北京

目 录

第一章 緒 論	1
§1-1. 牵引计算学的内容和作用.....	1
§1-2. 铁路运输上的牵引计算规程.....	2
第二章 機車牽引力的概念	3
§2-1. 作用在列车上的力.....	3
§2-2. 牽引力的形成.....	5
§2-3. 機車牽引的基本定律.....	7
§2-4. 機車牽引力的各種概念.....	10
第三章 內燃機車的牽引力	16
§3-1. 內燃機用于鐵路牽引工作的特點.....	16
§3-2. 內燃機車的粘著牽引力.....	20
§3-3. 內燃機車的內燃機牽引力.....	21
§3-4. 傳動裝置類型與內燃機車牽引特性的關係及 各類傳動形式內燃機車牽引特性.....	23
§3-5. 內燃機車的主發電機和牽引電動機的發熱.....	58
第四章 電力機車的牽引力	66
§4-1. 直流電力機車牽引性能的特點.....	66
§4-2. 牽引電動機的機電特性.....	68
§4-3. 電力機車牽引特性曲線的繪制.....	76
§4-4. 電力機車速度的調節.....	77
§4-5. 電力機車的粘著牽引力.....	84
§4-6. 電力機車的全牽引特性曲線.....	86
§4-7. 電力機車牽引電動機的發熱.....	89
§4-8. 整流器交流電力機車的特性.....	90
第五章 列車運行阻力	95
§5-1. 列車運行阻力概說.....	95
§5-2. 列車運行基本阻力.....	99
§5-3. 確定機車車輛單位基本阻力的計算公式和曲 線圖.....	119
§5-4. 線路坡道阻力.....	123

§5-5. 线路曲线阻力	125
§5-6. 其他附加阻力	127
§5-7. 列车总阻力	129
第六章 列车制动力	132
§6-1. 制动力概说	132
§6-2. 产生制动力的方法	132
§6-3. 由于闸瓦作用产生的制动力	134
§6-4. 闸瓦对轮箍的摩擦系数	137
§6-5. 闸瓦压力	140
§6-6. 由于闸瓦作用产生的列车制动力数值的计算	143
§6-7. 计算列车制动力的换算法	145
§6-8. 电制动	149
第七章 列车运动方程及其解法	158
§7-1. 列车运动方程的推导	158
§7-2. 解列车运动方程的一般原理	168
§7-3. 加速力减速度曲线图	171
§7-4. 变速运动的列车运动方程解法	181
§7-5. 匀速运动时列车运动方程的解算	204
第八章 牵引重量的计算	206
§8-1. 规定牵引重量定额的原则和方法	206
§8-2. 列车在计算上坡道上以均衡速度运行的牵引重量的计算	207
§8-3. 考虑利用列车动能计算牵引重量的试算法	213
§8-4. 在停车站上按起动条件校验牵引重量	223
§8-5. 在电力传动内燃机车牵引和电力机车牵引时按电机的发热校验牵引重量	226
§8-6. 吨公里图	227
§8-7. 补机推进和多机牵引	231
第九章 列车运行速度和运行时间的计算	234
§9-1. 概说	234
§9-2. 纵断面的简化	235
§9-3. 确定列车运行时间的图解法	245
§9-4. 计算列车运行时间的杰格捷列夫法	259
§9-5. $V = f(S)$ 速度曲线样板法	262

§9-6. 列车运行时间的近似算法	264
§9-7. 使用计算仪器计算列车区间运行时间	271
§9-8. 电流曲线的绘制	274
§9-9. 电机发热的计算	282
第十章 列车制动	299
§10-1. 概说	299
§10-2. 第一类制动课题的解算	305
§10-3. 第二类制动课题的解算	314
第十一章 机车电能及燃料消耗量的确定	322
§11-1. 电力机车电能消耗量	322
§11-2. 计算电能消耗量的 A. M. 伏勒夫法	324
§11-3. 计算电能消耗量的垂直线图解法	326
§11-4. 计算电能消耗量的均衡速度法	329
§11-5. 内燃机车的燃料消耗量	331
§11-6. 内燃机车燃料消耗量的垂直线图解法	335
第十二章 机车试验的概念	342
§12-1. 试验的基本任务	342
§12-2. 在机车试验时取得的机车牵引热工特性及 功能特性的编制	344
§12-3. 牵引热工试验和功能试验的试验方法	345
§12-4. 机车车辆运行阻力的试验测定	356
附 录	
附表 1 本文及图表中的约定符号和简写表	358
附表 2 内燃机车的主要性能	361
附表 3 电力机车的主要性能	362
主要参考文献	

第一章 緒 論

§1-1. 牽引計算學的內容和作用

鐵路應該滿足不斷增長的國民經濟在運輸方面的需要。在安全地完成和超額完成國家運輸任務的同時，應該力爭多拉快跑、高產低耗、最大限度地降低運輸成本。

完成這一任務的必要條件之一是：技術上適當地、經濟上有利地利用鐵路現有設備，首先是機車車輛，因為它們在鐵路技術裝備中占有很大的比重。

因此，在鐵路的日常實踐中，必須解決下列一系列的重要問題，如：

- (1) 按照線路縱斷面和所使用的機車類型確定貨物列車和旅客列車的重量；
- (2) 確定列車在計算上坡道上的最高運行速度；
- (3) 確定列車在各區間的運行速度和運行時間；
- (4) 按照列車中所保有的制動機數（即制動力大小）確定列車在線路縱斷面的各個坡段上，主要在下坡道上的最高容許速度；
- (5) 確定機車的水、燃料或電能消耗量，以便根據這些數據配置給水站、燃料廠、變電所和機務段。

上面指出的問題，及其他一些與機車車輛運用有關的問題，組成實用科學《牽引計算學》的內容。在牽引計算學中闡述了解算上述課題的運算手續和計算方法。

此外，在牽引計算學中，還要研究：機車牽引的一般規律；機車車輪與鋼軌的粘着情況；形成牽引力的力學原理，和各種類型機車牽引力的數量特性；列車制動力及其形成過程；實現最大可能制動效应的條件，及其與閘瓦輪箍摩擦係數對車輪鋼軌粘着係數比值間的關係；以及機車車輛在各種作業情況下的運行阻力。

理論力學的基本原理，機車車輛的科學試驗資料，和運營工作中的有關先進經驗，是解決上述一切問題的主要基礎。

§1-2. 铁路运输上的牵引计算规程

在铁路运输上，执行牵引计算的方式方法，和采用的有关主要计算标准，是以部颁的《牵引计算规程》规定的。所有铁路运输机构，都必须结合具体情况遵守和执行这一规程。

在牵引计算规程中，载有下列内容：

(1) 规程的任务和适用范围，计算的精确度，绘制线图的规则和使用符号等。

(2) 确定机车车辆单位阻力，线路纵断面的坡道阻力，和曲线阻力的计算公式或曲线图表。

(3) 有关确定闸瓦对轮箍的摩擦系数、闸瓦压力和列车总制动力的公式，确定在使用不同制动方法下的列车制动率的指示。

(4) 有关计算和确定牵引重量、化简线路断面、绘制速度曲线和时间曲线、确定区间运行时间的原则和方法的指示。校验电机发热的方法和有关标准。

(5) 进行制动计算，和确定机车的水、燃料或电能消耗量的指示，和必需的主要数据。

(6) 各类牵引（蒸汽、内燃、电力）的，为进行牵引计算所必需的机车性能资料和计算标准。

此外，在牵引计算规程的附录中，还附有进行各类机车牵引的详细牵引计算例题。

对于电力牵引和内燃牵引，牵引计算的主要定额和标准有：粘着系数，构造速度，有关电力机车和内燃机车运行阻力的数据，计算牵引力及在上坡道上的相应运行速度，列车在停车站上起动时的牵引力，计算电流及校验发电机和牵引电动机发热用的温度标准。

上面列举的各种数据，以定额标准形式载入牵引计算规程中；是具有极重要意义的，因为牵引重量、列车运行速度、区间运行时间，以及各区段与各线的运输能力和通过能力，都是取决于这些定额标准的。

必须注意，牵引计算规程中所规定的标准，它的数值不是固定不变的，而是与机车车辆的使用强度相联系的。机车车辆的使用强度，不用说，是随时在变化的。特别是在我们的铁路上，由

于广大铁路职工思想政治觉悟和技术水平的不断提高，技术装备的不断改进、革新，和更完善的新型技术装备的采用，先进工作者出色的工作结果，机车车辆使用强度是一直在增长的。因此，牵引计算规程指出，进行牵引计算时，除须依据现行规程的规定外，还应同时考虑先进司机的工作经验和结果——在工作中挖掘出来的潜在能力，和线路牵引试验的结果。

既然牵引计算规程是统一计算方法，规定各项有关计算标准的法规，不用说，铁路运输工作水平在很大程度上决定于这些标准制订的正确性和进步性。规程的内容应该与铁路技术装备和机车车辆使用强度水平相适应，应该总结机车的运用经验，为先进司机运动的进一步发展创造条件，并挖掘和利用机车牵引力和功率方面的潜在能力。因此，牵引计算规程必须定期进行审查修订，以适应变更了的铁路工作情况和机车车辆运用条件。

至于牵引计算的方式和方法，虽然在规程中已经根据现有的经验和牵引计算科学的成就，作了一些规定，以便有统一的准则。但是，这并不意味着不许可再改变，或者不需要改进了。进一步研究如何使这些方法的理论基础更加精确，在实际应用上更加便利、计算上更加快速、计算结果更加精确和切合实际，以及如何应用于解决各色各样的实际问题，仍然是牵引计算学中的一项重要研究课题。

第二章 機車牽引力的一般概念

§2-1. 作用在列車上的力

铁路列车的运动，与任何物体或物体系统^①一样，是由于外力作用在列车上的结果而发生的。依据理论力学的观点，铁路列车是一个具有弹性约束和刚性约束的物体系统。在这里，物体是车辆和机车，弹性约束是车钩连接器，而刚性约束是钢轨，列车沿着它完成运动。因此，严格地说，解与列车运动有关的问题，必须应用解物体系统运动的理论力学原理和方程。但是这就会遇

① 所謂物體系統（簡稱物系）是這樣的一個由各別的有一定相互聯系的物體組成的系統。各個物體之間的聯系形式可以是多種多樣各不相同的，一般說來，它的形狀是可變的。物體的分子系統，例如絕對剛體作為特例，分子之間的聯系可以認為是不變的。

到很大的纯粹数学性质的困难，因而在许多情况中，将没有可能使用这些方法去解实际问题。

因此，在列车牵引理论中，列车对钢轨和地面的运动，是被当作平移运动（平动）来研究的，就是列车上所有各点的速度，无论在方向方面或数值方面都是当作相同的。大家知道，根据物体系统惯性中心运动定理：假设某一物系的全部质量都集中在一点上——集中在系统的惯性中心（重心）上，并且作用于系统上的一切外力也都集中施加于这一点，那末，这一物体系统的惯性中心的运动，就和这一质点的运动相同。什么是质点呢？质点是这样的一种物体，它的体积与那些对所研究的运动具有最重要意义的空间关系（运动区域的大小）相比起来，是一无穷小量；它在运动时，除平动以外，不会发生他种运动。可否将某一个特定物体当作一个质点来处理，这就要依所研究的运动的特性来决定。在力学的某些问题中，常常把体积相当大的物体看作为一个质点来研究。但是必须了解，质点与几何点是不同的；前者还有有限体积和质量。

依据上述论点，在列车牵引学所研究的列车沿轨道运动中，根据列车运动的性质和特点，可以把列车当作质点来处理，即列车的全部质量都作为集中在这点上。在极大多数的情况下，这一关于列车质量分布的假设，在最后计算结果中，并不致引起对实用目的有多大意义的重大误差。同时在采用上述假设时，可以比较容易地用相当简单的计算方法来确定列车运动的实际特性，而且可以达到实用需要的精确度。

作用在物体系统各个单元上的一切力，通常可分为外力和内力。作用来自所研究系统以外的物体的力称为外力，而在本物体系统的诸点之间相互作用的力（或构成刚体的各个微粒之间相互作用的力）是内力。力分为外力和内力完全是有条件的，取决于所选定的物体系统的组成和范围。例如，在我们太阳系中，就整个太阳系来说，各行星和太阳之间，相互作用的一切力都是内力。作用在太阳系的外力来自其他类似的星系。大家知道，在宇宙间这种力是多得不可计数的。又例如，假如把铁路列车看作是一个物体系统来研究，那末对整个列车来说，外力有重力（列车的重量），列车运行时由钢轨作用于列车上的各种力，以及列车在周围大气中运动而产生的各种力。如果现在假定，按照所提出

的问题的条件，应当把列车的一半作为一个物体系统来研究，那末另外一半列车作用在所研究的一半列车上的力，也应该包括在刚才列举的外力之内。在上述两种情况中，经由车钩作用于各车辆之间的都是内力。

假如把一块石头当作一个物体系统，那末在研究它的运动时重力——它的重量——是外力，石头的各分子间的相互作用力——分子力是内力。把石头和地球作为一个物体系统时，地球的引力这时是内力。内力在任何物体系统中都是成对的，它们的数值相等，作用线重合，但方向相反。因此在所取的物体系统中，所有内力的合力和它们对任何轴的合力矩总是等于零。由此得出重要的结论：在只有内力的作用下，物体系统或物体的惯性中心（重心）不会改变它的状态。物体系统或物体的重心，只是在外力的作用下才可能产生位移。这个原理是理论力学中的一个基本定理。

当然，上述的一切也完全适用于铁路列车，因为只有在外力的作用下，它才可能运动。当列车沿轨道运动时，作用在列车上的外力有以下几种：牵引力、重力（列车的重量）、反抗运动的力——自然阻力和制动力（人为阻力）。上述各种力并不同时作用于列车，通常是以下列各种组合方式中的一种作用着：牵引力和自然阻力；自然阻力；制动力和自然阻力。只是在个别的情况（例如在线路或环行道上进行牵引热工试验或其他特例情况）中，牵引力、自然阻力和制动力才会同时存在。

同时作用在列车上的各种不同力的合力，其沿列车运行方向的分量决定着列车运动的性质和数量因素。

下文将研究上述各种力，首先是牵引力形成的物理原理。

§2-2. 牵引力的形成

现在让我们来研究电力机车和内燃机车牵引力的形成过程。

对于电力机车或电力传动内燃机车，当牵引电动机通入电流以后，在它的电枢上就产生扭矩。这个扭矩借助于传动装置，通常是齿轮传动装置，传递到电力机车或内燃机车的动轴和动轮。由于这些扭矩的作用就产生了牵引力。稍稍详细研究这一过程，就会发现它比蒸汽机车中的过程要简单得多。

首先应当指出，电动机电枢上所产生的扭矩是内力，因而不

能使电力机车或内燃机车产生平移运动。要使机车开始运动，必须有对机车来说的外力。在这里，钢轨的反作用就是这种外力。电枢轴上产生的逆时针方向的扭矩 M' （见图 2—1），借齿轮传动装置传递到动轴，在传递中有一些损失。动轴上的扭矩 M 是顺时针方向的。设以力偶 F 、 F' 取代力矩 M ，同时将车轮半径 R 取为力偶臂。组成力矩 M 的力之一 F 作用在车轮中心点 O 上，另一个力 F' 作用在车轮与钢轨的接触点 C 上。在任何瞬间，施于点 C 的力 F' ，力图使车轮沿钢轨向左移动，但是车轮被它与钢轨之间产生的粘着力（摩擦）在水平方向支持在钢轨上。在图 2—1 上，这个粘着力以字母 P 标示；它是由钢轨作用在轮箍上的力，其作用点也就是点 C 。了解这一点是很重要的：粘着力 P 是反作用力，因而在车轮没有沿钢轨滑动的情况下，它的数值只能有作用着的主动动力 F 那样大。由此可见，力 P 在数量上等于力 F ，并且作用线重合，但力的方向彼此相反。因此，在任一瞬间，力 F' 与力 P 在点 C 是平衡的。车轮上的点 C ，对钢轨来说是静止的，它是车轮沿钢轨滚动的瞬时中心。

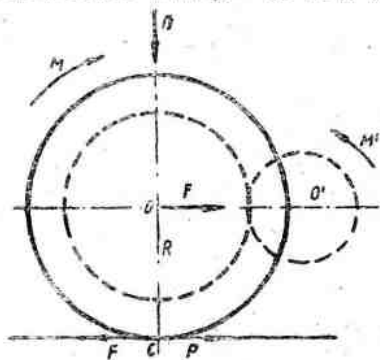


图 2—1. 电力机车、内燃机车
牵引力的形成示意图

由于力 F 和力 P 在点 C 的平衡，释出了作用于动轴中心的力 F 。这个力现在是一个没有被平衡的力，它使轴箱加压力于转向架的框架，然后通过弹簧上方结构，使电力机车或内燃机车产生平移运动。这个力 F 同时使车轮围绕瞬时滚动中心 C 转动。这个作用于动轴中心 O 的、并且方向始终与沿轨道运动方向相同的力 F ，就是电力机车或内燃机车的牵引力。

由此可见，电力机车或内燃机车的牵引力 F ，如同蒸汽机车一样，能够因有对它们来说的外力——动轮与钢轨间的粘着力的存在而产生。但是从上面的论述中可以清楚地看出，蒸汽机车牵引力的形成过程，与电力机车或内燃机车有很大的不同。在蒸汽机车中，随着曲拐位置的改变，作用于车架的牵引力向前或向后反

复变换方向。因而轴箱在轴箱切口中来回振动，时而压紧在它的后导框上（当曲拐位在下半圆周时），时而压紧在它的前导框上（当曲拐位在上半圆周时）。至于电力机车或内燃机车，牵引力经常稳定地作用在动轴中心上，因而轴箱在任何时刻都是紧压在轴箱切口的前导框上。

但是作用于动轴中心的力 F ，只是在有钢轨的水平反作用力 P 存在的条件下，才能成为使机车发生平动的主动外力。因此，通常不把力 F 而把反作用力 P 称作机车牵引力（作用于轮周上）。对整个机车来说，反作用力 P 显然是使机车发生平移运动所必需的外力。

因此，由机车发动机引起的、并且可以控制的，由钢轨沿机车运行方向加于动轮周上的切向外力，叫作机车的牵引力。

作用在轮周上的牵引力 P 的存在，可以用下述简单方法得到验证。

设想机车被吊离钢轨并开动发动机。这时机车动轮就开始旋转，而其重心则在原地不动，即不发生平移运动（由于没有外力）。如果把机车放落在钢轨上，那末它立刻就开始沿钢轨平移运动。这是由于产生了钢轨的水平反作用力 P 的缘故。

车轮作用于钢轨的力 F （其方向与机车运行方向相反）的存在也是很明显的。在上坡道所发生的钢轨爬行（与列车运行方向相反），就是力 F 的作用结果（在上坡道上力 F 特别大）。至于平道和下坡道上的钢轨爬行，则是顺列车运行方向的，它是由列车车轮冲击轨缝处的钢轨端头引起的。

§2-3. 機車牽引的基本定律

上节已经阐明：当主动力 F 增大时，反作用力 P 也同时以同样大小跟随着增大。

在运营中，尽可能实现较大的牵引力是合适的。因此就发生能不能无限地（当然是在与机车发动机功率相适应的可能范围之内）增大力 F 的问题。为了回答这个问题，必须比较详细地研究一下反作用力 P 。反作用力 P 称作是车轮与钢轨之间的粘着力，在物理上它是阻止车轮在主动力作用下沿钢轨移动的水平支承。当两个相互接触的受荷物体有相对弹性位移时，外摩擦力产生在它们的接触面上。因而按照粘着力的物理性质来说，它属于

外摩擦力一类。把滚动车轮与钢轨间的粘着力看作是静滑动摩擦力，实际上是很接近的；因为运动时的滑动摩擦力，与粘着力是有很大的差别的。如同一切摩擦力一样，车轮与钢轨间的粘着力，照例也用由车轮加于钢轨的荷重与粘着系数的乘积表示。用字母 II 代表荷重，希腊字母 ψ 代表粘着系数，按照图 2—1 得

$$P = \psi II. \quad (2-1)$$

车轮沿钢轨滚动时的粘着系数的数值，与压在钢轨上的荷重、轮箍和钢轨所用材料的弹性，及它们的表面状态和平移运动的速度有关。如果所指的是整个机车的粘着系数，那末在上列条件中，还要加入机车车架走行部的状态（各个部件组装的准确情况），线路上部建筑的设备、结构和状态，气候条件，以及其他可能有的意外情况。在一切情况下，粘着系数都不是稳定不变的，它的数值可以在相当大的范围（由 0.05 到 0.5 以上）内变动。在第三、第四章中，将对机车粘着系数作较详细的研究。现在要着重指出的是，钢轨的反作用力，我们称它为粘着力，其大小是有一定限制的；只是在一定的条件下它可以达到相应的最大值。现在就来阐述这个问题。

为了保证必需的粘着力，机车都具有几根动轴。在成组传动的机车中，例如蒸汽机车，所有动轴都用连杆互相联接在一起。在这种场合，机车汽机所做的功为产生机车粘着力的全部动轴所承受。

在单独传动的机车——电力机车和内燃机车——中，每根动轴独立地、不依赖其他轴实现它自己的粘着力。整个机车的总粘着力，与全部动轴压在钢轨上的总重量成比例。

动轴所承受的那部分机车重量，称为机车粘着重量，用字母 P_{ca} 表示。按照动轮与钢轨间的粘着条件决定的最大牵引力，称为粘着牵引力。

在上文中已经指出，要产生机车牵引力，在每个动轮与钢轨相切的接触点，必须建立钢轨反作用力与主动作用力间的平衡。

现在来研究一下，如果在任何一根动轴下失去所说的主动作用力与反作用力的平衡，那末将会发生什么情况呢？现在假设，主动作用力 F 的数值，超过可能有的最大粘着力 P ；并把力 F 分解为两部分：一部分是 F_I ，其数值与粘着力 P 相等，另一部分是 F_{II} 。

这时(见图 2-2)在点 C , 力 F_I 与粘着力 P 相平衡, 因而产生使机车平动的牵引力 F_I ; 另一不平衡部分——力 F_{II} 构成力矩 $M'' = F_{II} R$ 。力矩 M'' 引起车轮转动, 从而使车轮在平动的同时沿钢轨滑动。因此, 钢轨的反作用力(钢轨的支撑力), 这时在物理上表现为动滑动摩擦力。在车轮加在钢轨上的荷重相同的情况下, 动滑动摩擦力总是比静摩擦力或车轮的粘着力小, 而且是随着相对滑动速度的增大不断地减小。

这样, 钢轨的反作用力将会减小到某一数值 $\varphi_v II$, 这里 φ_v 是速度 V 时的滑动摩擦系数, 因为 $\varphi_v < \psi$; 所以如上文说过的那样, $\varphi_v II$ 将小于 ψII 。因此, 在从发动机方面来的扭矩的持续作用下, 力 F_I 越来越小, 而不平衡力 F_{II} 和力矩 M'' 则愈增愈大。车轮这时在较大力矩的作用下, 开始以较高的相对速度对钢轨旋转。由于这个结果

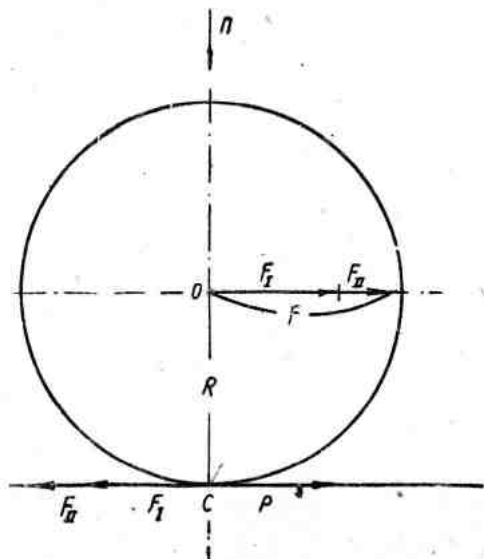


图 2-2. 内燃机车、电力机车动轮空转现象的形成

(由于上述的关于滑动摩擦力随速度的增高而减小的特性), 钢轨的反作用力也就继续减小。这个力 F_I 不断减小、及力 F_{II} 和力矩 M'' 不断增大的过程, 一直要继续到力 F_I 减小到这样程度的时候, 就是当差不多全部扭矩能量都消耗在车轮的原地旋转上的时候。这种现象称为车轮空转。空转时, 在车轮与钢轨接触范围内的水平反作用力, 在相对速度非常高的情况下, 通常是不大的。因此车轮的旋转速度可以增高到这样的程度, 就是发动机机构中所产生的惯性力, 可增大到使机件出现破损危险的程度。同时必须指出, 一切机车的来自发动机方面的作

① 有些研究者认为, 钢轨的水平反作用力先在极短暂的时间内增大到 ψII 以上, 然后迅速减小到 $\varphi_v II$ 。

用于动轮的扭矩，都随着车轮转速的增大而减小，因而主动作用力 F 也随之减小。这样，好象发生了车轮旋转速度的自动调节似的，并且调节的程度是依作用力矩（或机车的牵引力）的特性为转移的；转速愈增大，力矩减小愈快，或如所讲的，牵引力特性愈硬，调节就愈为有效。但是这种情况通常并不能显著地减少车轮的空转。所以在空转时，必须立即采取使空转停止的措施；这可以这样做，就是先把力 F 减小到 $\psi P_{c\kappa}$ 以下，并随即撒砂以增大粘着力。

由此可见，在每一瞬间，牵引力最大值的总和，不应超过动轮与钢轨间的粘着力的可能最大值。这一原理是机车牵引的基本定律，它可用数学方式表达如下：

$$\sum F_{\max} \leq \psi P_{c\kappa},$$

式中 $P_{c\kappa}$ ——机车的粘着重量。

因为通常粘着重量以吨表示，牵引力以公斤表示，所以上式常写成：

$$\sum F_{\max} \leq 1000\psi P_{c\kappa} \quad (2-2)$$

应当注意，在式（2-2）中，粘着重量的数值是作为静重（标称重量）考虑的，它是按照秤重的结果，或照机车的计算重量特性，即所谓轴荷重分配确定的。如上文已经指出的，实际上无论是成组传动的通常蒸汽机车的总粘着重量，或者单独传动的各轴粘着重量，都是与实现牵引力时加在钢轨上的实际轴荷重不相同的。

上文中所有关于机车牵引力形成原理的阐述，都是对通常的机车说的。至于用其他方法实现牵引力（例如使用螺旋桨、喷气发动机等等），由于许多原因尚未在铁路运输上采用。

§2-4. 機車牽引力的各種概念

任何機車都可以看作是將輸入其中的能量變換為牽引力外功的一種工具。各種牽引工具，一般都有幾個能量變換階段，並相應地有幾個變能部分。

電力牽引時，供給電力機車所必需的電能，是在固定發電站發出的。在牽引變電所變電以後，電能沿供電線——接觸線網的饋電線和接觸導線，經過電力機車的受電器（受電弓）送入牽引電動機。在電動機中，電能轉變為轉動電樞、齒輪傳動裝置和動輪