

113995

87-173
BTX₀₂
2

高等学校教学用书

机车车辆及列车牵引

下 册

北京铁道学院热力机车教研组编



人民铁道出版社

目 录

第四編 列車牽引

第十九章 列車牽引的一般概念	1
✓ §19-1 作用于列車上的力.....	1
× §19-2 機車牽引力的形成.....	1
第二十章 蒸汽機車牽引力	5
§20-1 关于蒸汽機車牽引力的一些概念.....	5
✓ §20-2 蒸汽機車粘着牽引力.....	7
✓ §20-3 蒸汽機車汽缸牽引力.....	8
✓ §20-4 蒸汽機車鍋爐牽引力.....	9
✓ §20-5 蒸汽機車牽引特性曲綫.....	10
第二十一章 內燃機車牽引力	14
§21-1 內燃機車牽引力概述.....	14
§21-2 不同傳动裝置的內燃機車牽引特性.....	16
§21-3 內燃機車主发电机和牽引電動机的发热.....	20
第二十二章 電力機車牽引力	23
§22-1 電力機車牽引力的限制.....	23
§22-2 電力機車牽引特性曲綫.....	24
§22-3 電力機車速度的調节.....	28
第二十三章 列車运行阻力	33
§23-1 概述.....	33
§23-2 基本阻力的分析.....	34
§23-3 計算基本阻力的經驗公式.....	37
§23-4 附加阻力.....	40
§23-5 列車阻力計算.....	44
第二十四章 列車制动力	45
§24-1 閘瓦緊压輪箍所产生的制动力.....	45
§24-2 閘瓦摩擦系数.....	45
§24-3 閘瓦压力的限制.....	46
§24-4 計算列車制动力的方法.....	48
§24-5 電力機車的电气制动力.....	50
第二十五章 列車运动方程式及运行时分的解算	53
§25-1 列車的动态分析及合力曲綫.....	53
§25-2 列車运动方程式及其解算.....	57
§25-3 計算列車运行時間的分析法.....	60
§25-4 求算列車速度和运行时分的图解法.....	62
§25-5 求算运行时分的均衡速度法.....	67
第二十六章 列車制动問題的解算	70
§26-1 制动距离及其計算.....	71
§26-2 第一类制动問題的解算.....	72
§26-3 第二类制动問題的解算.....	75

第二十七章 牵引重量計算	76
§27-1 牵引重量的計算方法.....	77
§27-2 牵引重量的校驗.....	79
§27-3 綫路縱断面的分析和牵引定数的制定.....	85
第二十八章 机車燃料消耗量	87
§28-1 蒸汽机車汽、水和燃料的消耗量.....	87
§28-2 內燃机車燃料消耗量.....	92
§28-3 电力机車电能消耗量.....	93
第二十九章 牵引計算实例	96
§29-1 綫路縱断面的化簡.....	96
§29-2 蒸汽机車牵引計算实例.....	99
§29-3 內燃机車牵引計算实例.....	104

第五編 机車車輛业务

第三十章 机車运用原則及指标	110
§30-1 机車业务生产特点及机务組織.....	110
§30-2 机車乘务組及其作息时间标准.....	111
§30-3 机車乘务制度.....	113
§30-4 机車运转制.....	116
§30-5 机車全周轉及机車运用的其他指标.....	118
第三十一章 机車整备及其設備	122
§31-1 机車整备作业的内容和組織.....	122
§31-2 蒸汽机車給煤和清灰設備.....	127
§31-3 机車其他整备作业所需設備.....	136
第三十二章 机車修理及其組織原則	141
§32-1 机車修理种类及基本内容.....	141
§32-2 修理間隔及修理周期.....	144
§32-3 段修組織原則.....	146
§32-4 蒸汽机車的温水洗炉及无火升汽.....	148
第三十三章 机車周轉图及机务段配屬机車台数的計算	151
§33-1 机車周轉图的作用及其与列車运行图的協調.....	151
§33-2 机車周轉图的編制.....	153
§33-3 机务段配屬机車台数及机車檢修率.....	155
第三十四章 机車庫及修配車間	160
§34-1 机車庫型式及其选择.....	160
§34-2 車位专业化及其需要数的确定.....	162
§34-3 修配車間及其主要設備.....	167
第三十五章 机务設備的布置及通过能力	169
§35-1 机务設備在段內的布置.....	169
§35-2 机务設備在铁路沿綫的分布.....	171
§35-3 机务設備通过能力的查定.....	173
第三十六章 車輛业务	177
§36-1 車輛业务的生产特点及沿綫生产单位.....	177
§36-2 車輛的定期檢修.....	179
§36-3 貨車日常技术保养.....	180
§36-4 客車日常技术保养.....	183
§36-5 車輛业务的主要設備.....	184

第四編 列車牽引

第十九章 列車牽引的一般概念

“列車牽引”是根据：（1）运动学的規律；（2）專門的機車車輛試驗（機車牽引熱工試驗，機車車輛阻力試驗，制動試驗等）；（3）機車車輛运用中的先進經驗来分析、并解决与列車运行有关的一些实际問題。

“列車牽引”不論在运营上、在新設計的綫路上、或在機車和車輛設計时，都有广泛的应用。在鐵路运营方面，用以計算重要的运营指标，如牽引重量、运行速度、运行时分、燃料消耗量（电力機車为耗电量）等；也用以解决制動問題、機車配置等問題。在設計新綫路时，可以用作选择合理的綫路縱断面、选择車站、給水站、机务段等位置的参考。在設計機車車輛时，可以用来选择機車車輛的主要参数和类型。

为了解决这些問題，首先要研究作用于列車上的一些力，并分析其主要因素和相互关系。然后，根据运动学的規律，研究列車运动方程式，从而解决上述的有关問題。

§19—1 作用于列車上的力

列車在运动中，受着各种不同方向和大小的力的作用。

在“列車牽引”中，并不研究所有作用于列車上的力，而只研究对列車运动有直接作用的力，即与列車运行方向相平行的外力、或外力的分力。这些力可以分为下列三类：

（1）機車牽引力 F_K （公斤）——它是由機車发动机所引起的、并通过动輪与鋼軌間的相互作用而产生的外力。它与列車运行方向相同，可由司机調节的。

（2）列車运行阻力 W_K （公斤）——它是列車在运行中、由許多原因所产生的力，此力与列車运行方向相反、阻止列車运行的外力。它是不能由司机控制的。

（3）列車制動力 B_m （公斤）——它是由制動装置所引起的、并通过动輪与鋼軌間的相互作用而产生的外力。它与列車运行方向相反，可由司机控制的力。

在計算时，凡是与列車运行方向相同的力，用正号表示；相反的力，則用負号表示。

列車在不同的工作状况下，上述三种力以不同的組合作用于列車上。如：

（1）当牽引运行时，牽引力与阻力同时作用于列車上，其合力为 $F_K - W_K$ （公斤）；

（2）当惰行时，只有阻力作用于列車上，合力为—— W_K （公斤）；

（3）当制動时，制動力与阻力同时作用于列車上，合力为—— $(W_K + B_m)$ （公斤）。

不論列車在何种运行情况下，阻力总是存在的，而牽引力与制動力一般不会同时存在。

有了作用于列車上的合力，就可以决定列車运动方程式；解算了列車运动方程式，就能解决列車牽引中的許多問題。

§19—2 機車牽引力的形成

一、蒸汽機車牽引力的形成

蒸汽機車前进时，蒸汽由汽缸前部进入，推动鞣輪的压力为 AB （图19—1），同时蒸

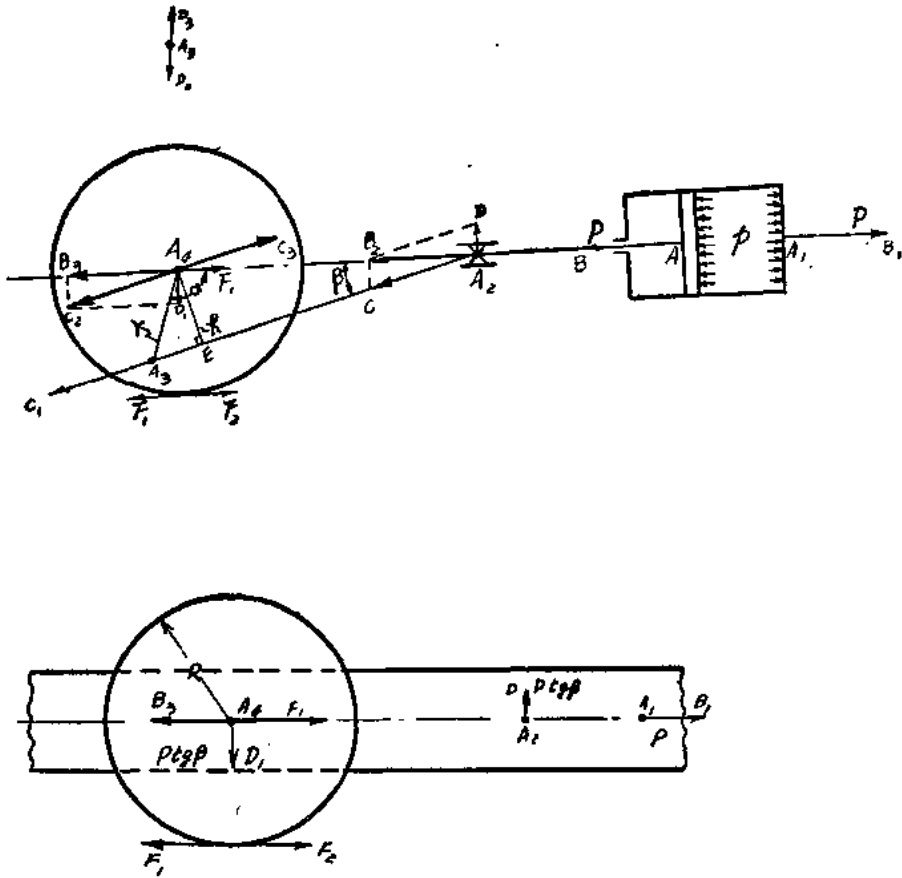


图19-1 蒸汽机车运动机构的作用力

汽亦以同样的压力 A_1B_1 作用于汽缸前盖。在这里， $AB = A_1B_1 = P$ 。

力 AB 经十字头杆传给十字头圆销 A_2 ，得力 A_2B_2 ，代替 AB （在此分析中，未计机械摩擦损失）。力 A_2B_2 可以分解为两个分力：一为沿摇杆作用的力 $A_2C = P/\cos\beta$ ；一为与十字头导板平面相垂直的力 $A_2D = P\tg\beta$ ，式中 β 为汽缸中心线与摇杆中心线的夹角。力 A_2C 沿摇杆传给主曲拐销 A_3 ，得力 A_3C_1 ，代替 A_2C ，即 $A_3C_1 = A_2C = P/\cos\beta$ 。

为了分析力 A_3C_1 在车轮上的作用，可在车轮中心 A_4 上加添一对大小相等（等于 A_3C_1 ），方向相反、并与 A_3C_1 平行的力 A_4C_2 和 A_4C_3 ，从而获得力 $A_4C_2 = \frac{P}{\cos\beta}$ 和力偶（ $A_3C_1 \cdot A_4C_2$ ）以代替力 A_3C_1 。力偶的力矩为

$$M_K = \frac{P h}{\cos\beta}$$

式中 h ——为力偶的力臂。

由 $\triangle A_4A_3E$ 可知

$$h = r \sin[180^\circ - (\alpha + \beta)] = r \sin(\alpha + \beta)$$

因此

$$M_K = \frac{P r \sin(\alpha + \beta)}{\cos\beta}$$

式中 r ——曲拐 A_3A_4 的长度；

α ——曲拐 A_3A_4 和 A_4A_2 线的夹角。

力矩 M_K 引起轮周切线力 F_1 ，该力由车轮作用于钢轨。设 R 为主动轮半径，则

$F_1 R = M_K$ ，于是

$$F_1 = \frac{M_K}{R} = \frac{P r}{R} \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\cos \beta}, \quad (19-1)$$

力 $A_4 C_2 = \frac{P}{\cos \beta}$ ，又可分解为力 $A_4 B_3$ 和 $A_4 D_1$ 。力 $A_4 B_3$ 平行于 $A_1 B_1$ ，而且 $A_4 B_3 = A_4 C_2 \cos \beta = \frac{P \cos \beta}{\cos \beta} = P$ ，力 $A_4 D_1$ 平行于力 $A_2 D$ ，而且

$$A_4 D_1 = A_4 C_2 \sin \beta = \frac{P \sin \beta}{\cos \beta} = P \operatorname{tg} \beta. \quad (19-2)$$

经过上述的转变后可以看出，由于蒸汽在汽缸内做功，产生了下述的四个力和一个力偶（参阅图19-1的下图）。即：

- (1) 力 $A_1 B_1$ ，经过前汽缸盖传给车架；
- (2) 力 $A_2 D$ ，经十字头导板传给车架；
- (3) 力偶 $(A_3 C_1 \cdot A_4 C_3)$ 作用于车轮，其迴轉力矩为：

$$M_K = F_1 R = \frac{P r \sin(\alpha + \beta)}{\cos \beta},$$

- (4) 力 $A_4 B_3$ ，经轴箱而传到车架；
- (5) 力 $A_4 D_1 = P \operatorname{tg} \beta$ ，作用于车轮。

其余的力 $A_1 B$ 、 $A_2 B_2$ 、 $A_2 C$ 、 $A_4 C_2$ 和力偶 $(A_3 C_1 \cdot A_4 C_3)$ 已被其等值的力和力偶所代替，因此就不再研究了。

剩下的四个力之中，其水平方向的力 $A_1 B_1$ 和 $A_4 B_3$ 是作用于同一条直线上（如果汽缸中心线与轮轴中心线是相交的话），其大小相等方向相反。因为这两个力传达到同一个物体（车架）上，故相互平衡。其作用使车架受到拉伸或压缩。

假定机车没有弹簧装置，轴箱与车架是硬性连接，这样，垂直方向的二力 $A_4 D_1$ 和 $A_2 D$ 形成一个力偶，其力矩 M_P 为

$$M_P = A_2 D \times \overline{A_2 A_4}$$

且与力偶 $(A_3 C_1 \cdot A_4 C_3)$ 的力矩 M_K 相等而方向相反。

$M_K = M_P$ 的证明如下：由于 $\triangle A_2 D B_2$ 和 $\triangle A_2 A_4 E$ 是相似的，所以

$$\frac{A_2 D}{A_4 E} = \frac{B_2 D}{A_2 A_4},$$

即

$$\begin{aligned} A_2 D \cdot A_2 A_4 &= A_4 E \cdot B_2 D \\ &= h \cdot \frac{P}{\cos \beta} = r \sin(\alpha + \beta) \cdot \frac{P}{\cos \beta} = \\ &= \frac{P r \sin(\alpha + \beta)}{\cos \beta}, \end{aligned}$$

亦即

$$M_P = A_2 D \cdot A_2 A_4 = \frac{P r \sin(\alpha + \beta)}{\cos \beta} = M_K.$$

力矩 M_P 使机车有绕其水平横轴旋转的趋向，使前轴减载、后轴增载。

但一般机车的车架与轴箱是以弹簧相连的，故 $A_4 D_1$ 和 $A_2 D$ 二力的作用，应予以分别研究。力 $A_4 D_1 = P \operatorname{tg} \beta$ 直接由车轮传给钢轨，增加动轮对钢轨的压力，并被钢轨对车轮的反作用力所平衡。机车前进时，力 $A_4 D_1$ 永远向下作用，当曲拐销位置在铅垂上方或下方时，其值最大，曲拐销在水平位置时其值为零。

方向不同时，用于P改变方向。

力 A_2D 是传给车架的，因在弹簧上部的车架，锅炉为一刚体，而力 A_2D 的作用线不经过其重心，故在簧上部分的重心处加添一对大小相等，方向相反平行于 A_2D 的力 A_5D_3 及 A_5D_2 。假设重心正好在动轴之上，就得到力偶 $(A_2D \cdot A_5D_2)$ 和力 A_5D_3 。力 A_5D_3 有抬起全部簧上重量而减少全部弹簧载荷的作用。又因 A_5D_3 等于 A_4D_1 ，所以机车的总重不变，而只靠主动轮对于钢轨的增载（由于 A_4D_1 ）来使其他的车轮减载（由于 A_5D_3 ）。力偶 $(A_2D \cdot A_5D_2)$ 则起双重作用：第一，由于机车一侧弹簧上部的减载而引起另一侧弹簧上部的增载；第二，由于前部弹簧的减载而引起后部弹簧的增载。

至此，剩下的只有两个力偶：力偶 $(A_2D \cdot A_5D_2)$ ，作用于机车车架上；力偶 $(A_3C \cdot A_4C_3)$ ，作用于动轮上。这样，蒸汽在汽缸内作用的结果，就是产生两个大小相等而方向相反的力矩 M_K 和 M_P ，前者企图使动轮对车架转动，后者企图使车架对车轮转动，二者都是内力矩，倘若没有任何外力，就不可能获得任何有用的功或使机车移动。

机车一般采用二对或二对以上的轮对。如图19—2。这样，一方面可使 M_P 获得均衡：

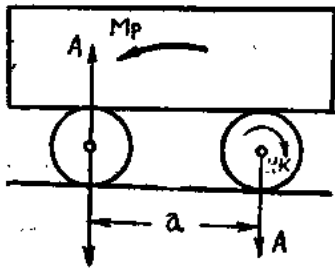


图19—2 牵引力产生示意图之一

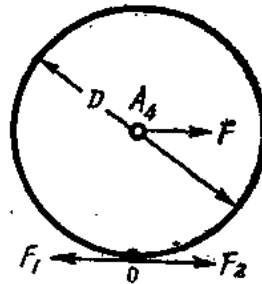


图19—3 牵引力产生示意图之二

$$M_P + A \cdot a = 0$$

式中 A 为由于力矩 M_P 的作用而使前轮减少的重量或后轮增加的重量。

另一方面对力偶 M_K 来说，其中一个力 F_1 由车轮作用于钢轨上，因车轮与钢轨之间有摩擦力（粘着力），所以，必然引起钢轨的反作用力 F_2 ，大小与 F_1 相等，而方向相反，如图19—3。很明显，力 F_2 对任何机车都是外力，是推动机车前进的力。因为有了它才使动轮在钢轨上建立必要的支承，使动轮与钢轨接触之处没有相对滑动，从而产生作用于动轮轴心的自由力 F_1 推动机车前进。如果动轮得不到这个必要的支承，则机车动轮将空转，得不到机车前进的力。所以 F_2 就是机车牵引力。

二、内燃机车和电力机车牵引力的形成

不论是机械传动和液力传动的内燃机车，或是电传动内燃机车和电力机车，它们都在动轴上装有齿轮箱或牵引电动机，而且都是通过一对齿轮传递扭矩到机车动轮上的。从齿轮箱或牵引电动机开始分析牵引力的产生是完全相同的。因此，这里只用电传动内燃机车为例来说明这些机车牵引力的形成过程。

图19—4是牵引电动机齿轮装置的示意图，电动机的定子有两个支承点：一端以动轴为支点 (A_4) ，另一端通过弹簧吊在车架上 (A_3) 。当转子旋转时，电动机产生的扭矩，通过半径为 r_1 和 r_2 的二个齿轮而传到动轮上。假设转子所产生的力矩 M 为顺时针方向，则小齿轮以力 A_1B_1 作用在大齿轮上，产生了力偶 (A_1B_1, A_2B_2) ，其力矩为 $M = A_1B_1 \cdot r_1$ 。

按照作用与反作用定理，大齿轮以力 A_2B_2 反作用在小齿轮上， $A_1B_2 = A_2B_1$ 。

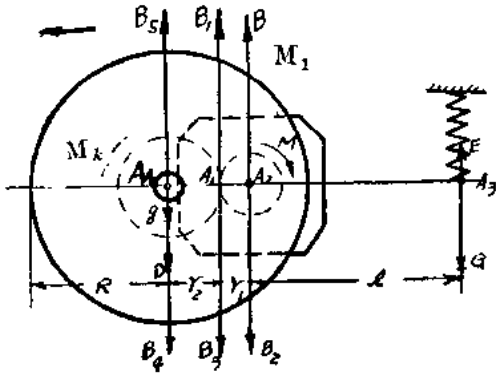


图19-4 动轴齿轮上的作用力示意图

从另一方面看,作用在大齿轮上的 $A_1 B_1$ 与动轴支点 A_4 上的反力,形成一个力偶($A_1 B_1, A_4 B_4$)和一个力 $A_4 B_5$ 。其力矩为 $M_K = A_1 B_1 \cdot r_2$, 其力 $A_4 B_5 = A_1 B_1$ 。这样一来,就得到:作用在动轴对上的有力矩 M_K 和力 $A_4 B_5$,作用在电动机转轴上的力 $A_2 B_2$,以及作用在电动机定子上的力矩 M_1 (M_1 与 M 相等而方向相反)。

把力 $A_2 B_2$ 分解到支点 A_3 和 A_4 上,即得:

$$\begin{aligned} A_3 G &= A_2 B_2 \frac{r_1 + r_2}{r_1 + r_2 + l} = \\ &= A_1 B_1 \frac{r_1 + r_2}{r_1 + r_2 + l}, \end{aligned}$$

$$A_4 D = A_2 B_2 \frac{l}{r_1 + r_2 + l} = A_1 B_1 \frac{l}{r_1 + r_2 + l},$$

式中 l ——电动机转轴与悬挂支点之间的距离。

力矩 M_1 是由力偶($A_3 E \cdot A_4 g$)所引起的。同时

$$A_3 E = A_4 g = \frac{M_1}{r_1 + r_2 + l} = A_1 B_1 \frac{r_1}{r_1 + r_2 + l}.$$

在支点 A_4 上的垂直方向合力为

$$\begin{aligned} A_4 B_5 - A_4 D - A_4 g &= A_1 B_1 - A_1 B_1 \frac{l}{r_1 + r_2 + l} - A_1 B_1 \frac{r_1}{r_1 + r_2 + l} \\ &= A_1 B_1 \frac{r_2}{r_1 + r_2 + l}, \end{aligned}$$

而在支点 A_3 上的合力则为

$$A_3 G - A_3 E = A_1 B_1 \frac{r_1 + r_2}{r_1 + r_2 + l} - A_1 B_1 \frac{r_1}{r_1 + r_2 + l} = A_1 B_1 \frac{r_2}{r_1 + r_2 + l}.$$

这两个垂直合力的值是相等、而方向相反,它们形成了一个力偶,其力矩为

$$\left(A_1 B_1 \frac{r_2}{r_1 + r_2 + l} \right) \cdot (r_1 + r_2 + l) = A_1 B_1 \cdot r_2.$$

这个力矩作用在车架,就和力矩 M_D 的作用相同,而且它和作用在轮对上的力矩 M_K 相等($M_K = A_1 B_1 \cdot r_2$),不过方向是相反的。

这样,在电动机的工作过程中,同样获得两个力偶,其力矩为 M_K 和 M_D ,与蒸汽机车的情况完全相同。因此,内燃机车和电力机车牵引力的形成也就与蒸汽机车相同了。

第二十章 蒸汽机车牵引力

§20—1 关于蒸汽机车牵引力的一些概念

一、蒸汽机车牵引力的平均值及瞬时值

蒸汽机车牵引力可用公式(19-1)表示,即:

$$F = \frac{P r}{R} \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\cos \beta}.$$

假定 $P = \text{常数}$, $\beta = 0$ (即摇杆长度 $= \infty$) , 则上式可简化为:

$$F = P \cdot \frac{\pi}{R} \sin \alpha。$$

由此式可知, 主动輪轉动一周, 機車牽引力按正弦曲綫变化, 如图20—1所示。图中曲綫沒有負值, 这是因为当 $\sin \alpha$ 为負值时 (即主曲拐鉤在上半圓), 蒸汽压向鞣鞣的力 P 也改变方向, 故牽引力仍为正值。

图中点划綫为右侧汽缸产生的牽引力曲綫, 虛綫則为左侧汽缸产生的牽引力曲綫。从图中可以看出, 每个汽缸单独产生的牽引力, 其变化范围是很大的。如果左右两侧主曲拐的夹角为 0° 或 180° , 则二个汽缸的合成牽引力变化更大, 并且当主曲拐在水平位置时, 合成牽引力将等于零, 機車就不能起动了。所以双汽缸機車的左右两主曲拐都相差 90° 或 270° , 这样, 左右两个汽缸的合成牽引力曲綫如图上部的阴影部分, 其变化范围将显著减小。

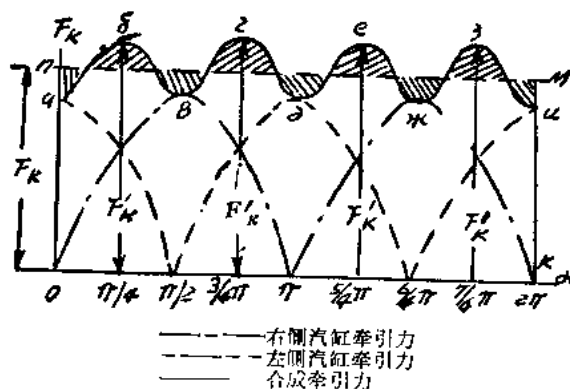


图20—1 在理想情况下, 蒸汽機車轉动一周指示牽引力变化曲綫

从图中还可以看出, 在动輪旋轉一周中, 合成牽引力的最大值 F'_k 将出现四次, 即 $\alpha = 45^\circ, 135^\circ, 225^\circ$, 及 315° 时。图20—1是假设 $P = \text{常数}$, $\beta = 0$ 时获得的, 但实际上, 蒸汽压向鞣鞣的合力 P 是随着曲拐的旋轉角而不断变化的, 同时, $\beta \neq 0$ 即摇杆不是无限长的。所以, 实际機車的合成牽引力只发生在 $\alpha = 45^\circ$ 时, 如图20—2。先进司机善于利用曲拐在 45° 时启动機車就获得較大的起动物牽引力。

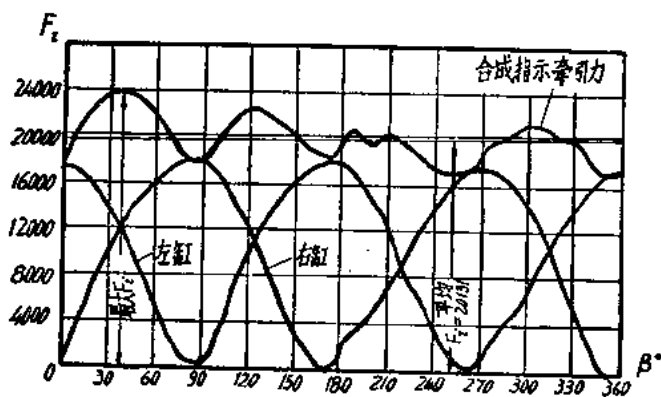


图20—2 解放型蒸汽機車当 $P = 1$, $\epsilon = 0.7$, $V = 15.6$ 公里/小时时, 动輪轉一周的指示牽引力变化曲綫

在计算机車牽引力时不能采用变化不定的瞬时值, 而只能采用其平均值。图20—1中的 F_k 值就是在动輪一周轉中的平均牽引力, 称为轮周牽引力。

采用平均牽引力值时不能忽略機車牽引力有时大有时小的实际情况。这个情况可以用轮周牽引力的不匀率 μ 来表示, 即:

$$\mu = \frac{F'_k - F_k}{F_k} \quad (20-1)$$

或
$$F'_k = F_k(1 + \mu) \quad (20-2)$$

式中 F'_k ——轮周牽引力瞬时值,
 F_k ——轮周牽引力平均值。

不匀率 μ 将影响轮軌間粘着系数, 将在下面粘着牽引力一节中用到。

二、对应施力点的机车牵引力概念

在蒸汽机车上，机械功的传达分为三个连续的阶段，即：（1）在汽缸内；（2）通过传动机构作用于钢轨上；（3）作用于机车的车钩上。对应着这些施力点，蒸汽机车牵引力的概念也可分为下列三种：

- （1）指示牵引力—— F_i 公斤；
- （2）轮周牵引力—— F_K 公斤；
- （3）车钩牵引力—— F_n 公斤。

用示功器直接从汽缸中测量出的功叫做指示功。如果指示功毫无损失地传给动轮，这样在轮周上产生的牵引力称为指示牵引力 F_i 。但是指示功通过传动机构传给动轮的过程中是有机械摩擦损失的，所以实际在轮周上产生的牵引力 F_K 应该小于指示牵引力，即

$$F_K = F_i \eta_m, \quad (20-3)$$

式中 η_m ——机械效率，包括汽机、阀动机构和传动机构的摩擦损失。

机车移动时，本身也有阻力，为了克服这个阻力要消耗掉一部分牵引力，所以在机车后车钩上测得的牵引力 F_n 又要比轮周牵引力小些，即为：

$$F_n = F_K - W'_K, \quad (20-3a)$$

式中 W'_K ——机车的阻力。

上述三种牵引力中，轮周牵引力是基本的常用的，在牵引计算规程中规定只按轮周牵引力 F_K 进行计算。

三、蒸汽机车牵引力的限制因素

按照蒸汽机车的能量转换过程，蒸汽机车的轮周牵引力又受下面三种变能部分工作能力的影响和限制：

- （1）受锅炉蒸发蒸汽能力的限制，称为按锅炉工作能力确定的轮周牵引力，简称为锅炉牵引力；
- （2）受汽机工作能力的限制，称为按汽缸工作能力确定的轮周牵引力，简称为汽缸牵引力；
- （3）受钢轨所能给与动轮反作用力的限制，称为按动轮与钢轨间粘着力确定的轮周牵引力，简称粘着牵引力。

在各种不同工作情况下，蒸汽机车的轮周牵引力又受上述三种牵引力中最小的一个限制。所以在设计蒸汽机车时，这三种工作能力之间必须很好配合，而在蒸汽机车运用中，也要很好地把这三个部分的工作能力充分利用起来。

§20-2 蒸汽机车粘着牵引力

从牵引力产生的过程可知，由于动轮力矩 M_K 的作用，使机车动轮上产生轮周切线力 D_a, D_b, \dots 等，如图20-3所示。对机车来说， D_a, D_b 等是内力，仅使动轮旋转，不能使机车移动。欲使机车移动还有赖于轮周切线力所引起的钢轨反力 F_c, F_d, \dots 等。但是这个反力仅在轮轨间有足够的粘着力时才能产生，故 F_c, F_d 称为粘着力。所谓粘着就是车轮以垂直载荷压在钢轨上，钢轨给动轮以必要的支承，承受动轮作用于钢轨的力 D_a, D_b, \dots 等。

粘着力 F_a , F_s 等的数值随轮周切线力的大小而变化。切线力的大小则由司机操纵。切线力增大时, 粘着力也相应地增大。但是粘着力有一定的极限值, 如果切线力超过了这个极限值, 粘着将被破坏, 轮轨间就要滑动, 轮轨间的摩擦力将急剧下降, 切线力的极大部分得不到必要的支承, 只能促使动轮空转而不能转化为使机车前进的外力。

为了防止机车发生空转, 动轮作用在轨面上的最大轮周切线力在任何情况下都不得大于轮轨间的最小粘着力, 即应满足下式条件:

$$F_{max} \leq \min P_k \psi \quad (20-4)$$

式中 ψ ——轮轨间的理想粘着系数, 其值为速度近于零时的滑动摩擦系数;

P_k ——机车的粘着重量 (吨), 即机车在静止状态下动轮载荷之和。

因为在车轮的实际滚动中, ψ 值随着许多因素而变, 例如轮轨的接触面并不是理想的滚动, 而是有滑动的, 并且机车速度越高, 滑动越大, ψ 值越小。考虑到实际因素的影响, 在理想粘着系数 ψ 上乘以 β , 显然 $\beta < 1$ 。另外考虑到机车实际运行中, 粘着重量因动力作用等因素而有变化, 又在粘着重量上乘以 α , $\alpha < 1$ 。因此

$$\min P_k \psi = \alpha P_k \beta \psi。$$

从公式 (20-1), $F_{max} = F_K (1 + \mu)$ 。

将 F_{max} 与 $\min P_k \psi$ 代入 (20-4) 式, 得:

$$F_K (1 + \mu) \leq P_k \cdot \alpha \cdot \beta \cdot \psi,$$

或

$$F_K \leq P_k \psi \frac{\alpha \beta}{1 + \mu}。$$

令

$$\psi_k = \frac{\alpha \beta}{1 + \mu} \psi,$$

则

$$F_K = P_k \psi_k \text{ (吨),}$$

或

$$F_K = 1000 P_k \psi_k \text{ (公斤),} \quad (20-4a)$$

式中 ψ_k ——计算粘着系数。

ψ_k 值随轮轨接触面的状态 (洁净与污秽, 干燥与潮湿等)、轮轨的材质等因素而有较大范围的变化。在同样的情况下, ψ_k 又随机车的速度而不同。机车速度增高时, 轮轨间的滑动相对增加, 机车的动力作用相应增加, 于是 ψ_k 值就要下降。影响 ψ_k 的因素非常复杂, 其值的变化范围也较大, 实用上是根据专门试验和实际使用经验来确定。我国牵引计算规程中规定对双汽缸蒸汽机车, 采用

$$\psi_k = \frac{30}{100 + V}, \quad (20-5)$$

式中 V ——机车速度 (公里/小时)。

将 ψ_k 值代入 (20-4a) 式, 即可计算出在不同速度下的粘着牵引力

§20-3 蒸汽机车汽缸牵引力

如果机车锅炉能够充分地向汽机供给蒸汽, 机车的粘着重量也足以使汽机产生的内机械

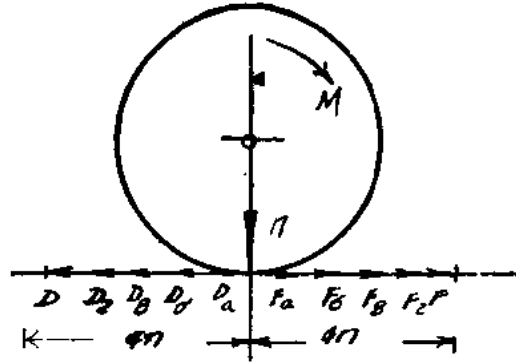


图 20-3

功轉变为牵引力的外功，那末，機車輪周牵引力将受到汽缸尺寸的限制。

从本书第六章里所导出的汽缸牵引力公式

$$F_k = \frac{p_k d^2 l}{D} \cdot \xi \cdot \eta_m \quad (\text{公斤}) ;$$

或

$$F_k = M \cdot \xi \cdot \eta_m \quad (\text{公斤}) ; \quad (20-6)$$

式中 M ——機車的牵引力模数；

ξ ——指示压力系数；

η_m ——机械效率。

我們可以看出，汽缸尺寸的大小将直接影响到汽缸牵引力。但是在实际运用中， M 是常数， η_m 的变化并不太大，汽缸牵引力主要是随着指示压力系数 ξ 而变化。

由于 $\xi = f(V, \epsilon, \rho)$ (詳見第六章)，所以汽缸牵引力也随着 V, ϵ, ρ 而变化，即

$$F_k = f(V, \epsilon, \rho)。$$

因此，汽缸牵引力曲綫与 $\xi = f(V, \epsilon, \rho)$ 曲綫是相似的。

§20—4 蒸汽機車鍋炉牵引力

機車鍋炉的蒸发能力是有一定的，不可能无限制地供給汽缸所需的蒸汽，因此，機車輪周牵引力还要受到鍋炉的限制，准确些說，就是受到鍋炉蒸发量的限制。

在第三章里已經講过，鍋炉每小时蒸发出的蒸汽供給汽缸的部分为 $Z_m H$ ，同时，汽机每馬力小时消耗的蒸汽即汽耗率为 $\frac{U}{N_k}$ 。那么前者被后者除，即得鍋炉功率，

$$N_k = \frac{Z_m H}{U/N_k} \text{馬力。}$$

另外，将 $N_k = \frac{F_k V}{270}$ (馬力) 代入上式得，

$$\frac{F_k V}{270} = \frac{Z_m \cdot H}{U/N_k}$$

于是

$$F_k = \frac{270 Z_m \cdot H}{U/N_k} \cdot \frac{1}{V} \quad (20-7)$$

公式(20—7)就是鍋炉牵引力公式。式中供汽量(或蒸发量)几乎与速度无关，可視為常数。如果 U/N_k 也是常数，那么， $F_k V = \text{常数}$ ，鍋炉牵引力曲綫将为双曲綫。这样的牵引性能是最理想的，因为，不論在高速或低速时都能充分发挥機車的功率。但是已經知道， U/N_k 不是常数，而是随着機車的調整閘开度 ρ ，遮断比 ϵ 和速度 V 的变化而变化，即 $U/N_k = f(\rho, \epsilon, V)$ ，(詳見第六章)。因此鍋炉牵引力只是近似于双曲綫，鍋炉牵引力亦随 ρ, ϵ 和 V 而变化。

鍋炉牵引力随 ρ, ϵ 和 V 变化的原因除了 U/N_k 的因素之外，还有这样一个重要因素，即如果機車速度 V 增加，汽机遮断比 ϵ 不变，則因鞣鞣每分鐘的往复次数增加而使汽机单位時間內所需的蒸汽量增加。如前所述，增加到一定程度，鍋炉的蒸发能力将不能满足汽机的需要。这时，如果不通过縮小遮断比 ϵ 来减少每冲程送入汽缸的蒸汽量，鍋炉汽压 p_k 势必下降，即蒸汽质量下降，这样不但降低輪周牵引力，而且还使汽耗率 U/N_k 增大。在实际工作

中，此时应缩小遮断比 ϵ ，这样虽降低了牵引力，但是一般来说不会增加汽耗率。锅炉牵引力随速度的增加而下降，比汽缸牵引力的下降快的道理就在于此。

此外，从公式 (20-7) 中可知，如果锅炉的供汽率 Z_m 改变，必然直接影响牵引力的变化，在其他条件相同的情况下， Z_m 增大时，牵引力就增大，相反地 Z_m 减小时，牵引力就减小。给定各个 Z_m 时，例如 40, 50, 60 公斤 / 小时，就可以得出各条相应的锅炉牵引力曲线，如图 (20-4)。

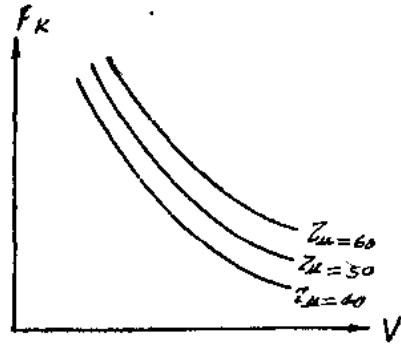


图20-4 锅炉牵引力曲线示意图

§20-5 蒸汽机车牵引特性曲线

一、蒸汽机车牵引力曲线

综上所述，机车牵引力受机车粘着重量、汽缸和锅炉三部分工作能力的限制。因此，研究蒸汽机车的牵引特性，必须把这三种牵引力结合起来考虑。从公式 (20-4) 和 (20-5) 知道粘着牵引力 $F_k = f(P_k \cdot V)$ ，从公式 (20-6) 得汽缸牵引力 $F_k = f(V, \epsilon)$ ，再从公式 (20-7) 得锅炉牵引力 $F_k = f(Z_m \cdot V)$ 。不论那一种牵引力都是和速度有关系的，所以这三种牵引力可以画在同一图上，同一组曲线来表示，这组曲线就叫做蒸汽机车牵引力曲线 $F_k = f(V, Z_m, \epsilon)$ ，如图 20-5。

从图中可以看出：机车在低速时，牵引力受粘着方面或受汽机方面的限制；速度增高后，又受锅炉方面的限制；速度再增高时，最后受到机车构造速度的限制。

图 20-6 ~ 图 20-9 是我国几个主要蒸汽机车的牵引力性能曲线，这些曲线是我国铁道科学研究院通过专门试验得到的，并列于蒸汽机车牵引计算规程中，作为牵引计算的依据。

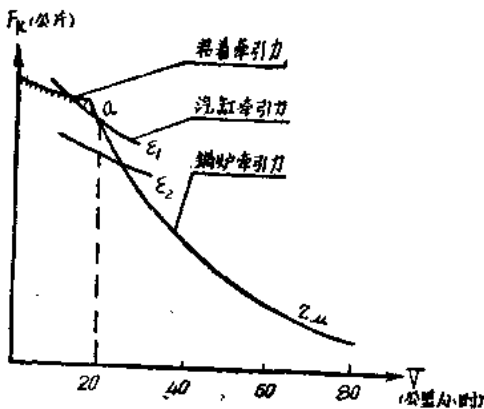


图20-5 蒸汽机车牵引力曲线示意图

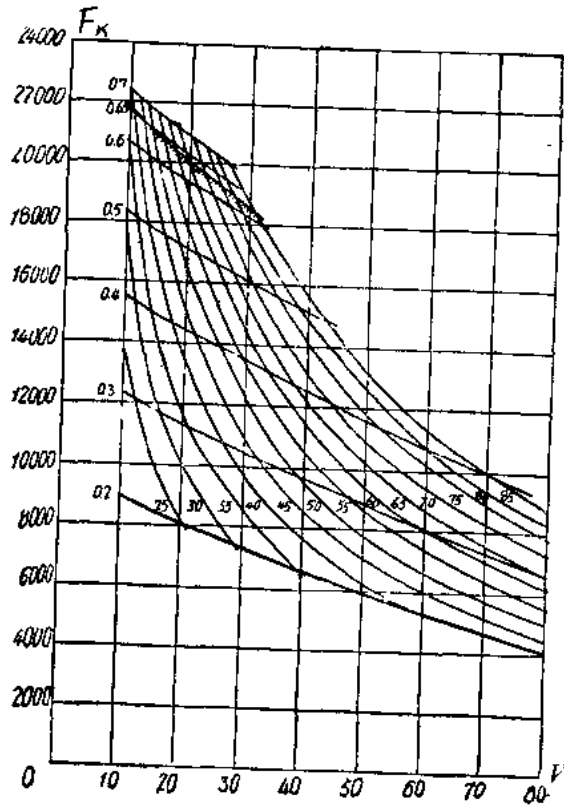


图20-6 建设型蒸汽机车牵引力曲线图

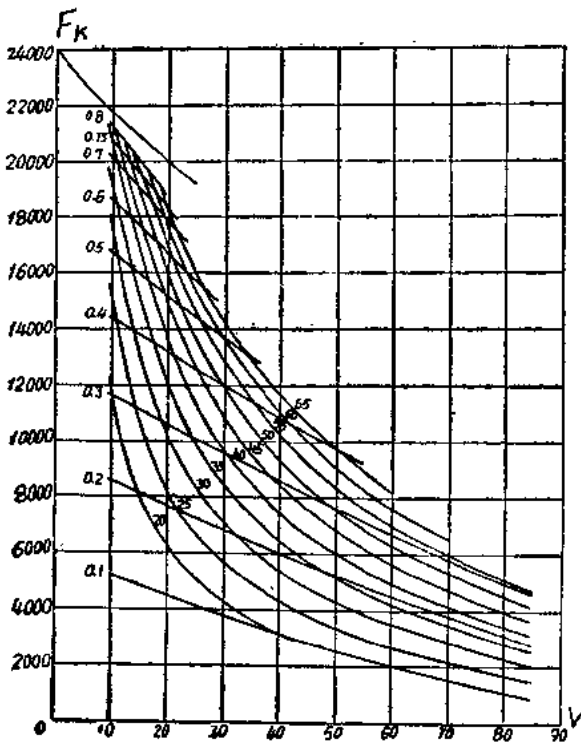


图20—7 解放型蒸汽机车牵引力曲线图

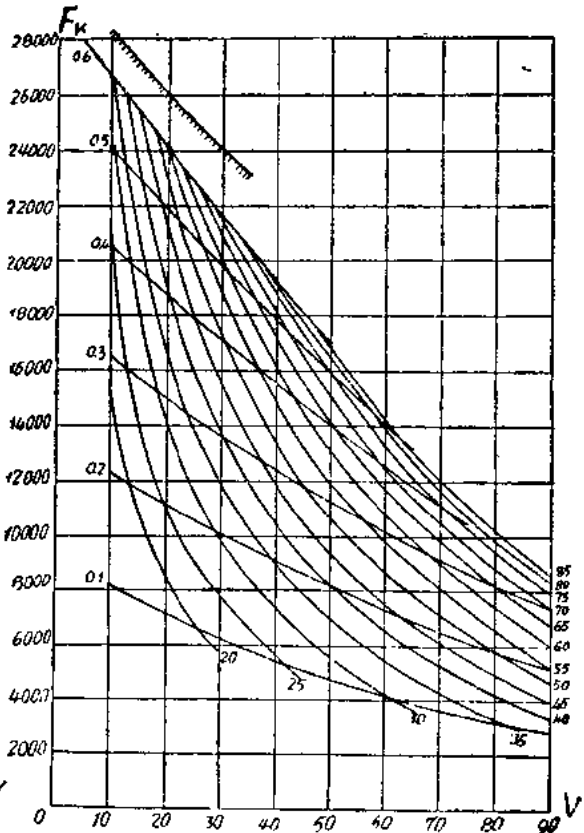


图20—8 友好型蒸汽机车牵引力曲线图

从这些曲线图可以分析机车牵引力 F_k 、遮断比 ϵ 、供汽率 Z_m 与运行速度 V 之间的相互关系，作为操纵机车的参考，也可以看出机车各主要部件的设计质量。

应用牵引力曲线图进行一般计算时，首先要确定几个主要计算标准，如：计算供汽率 Z_{mp} 、计算遮断比 ϵ_p 、计算速度 V_p 和起动牵引力 F_{kmp} 。

计算供汽率 Z_{mp} 是计算最大锅炉牵引力时的根据。它是在机车进行热工试验时，从燃烧情况和汽水供应两方面来决定的。例如，建设型机车的计算供汽率为 75 公斤/米²·小时（见表20—1），在计算时，即根据 $Z_m = 75$ 公斤/米²·小时的锅炉牵引力来进行。

计算遮断比 ϵ_p 是计算机车牵引列车重量时取用最大汽缸牵引力的根据。它比机车最大设

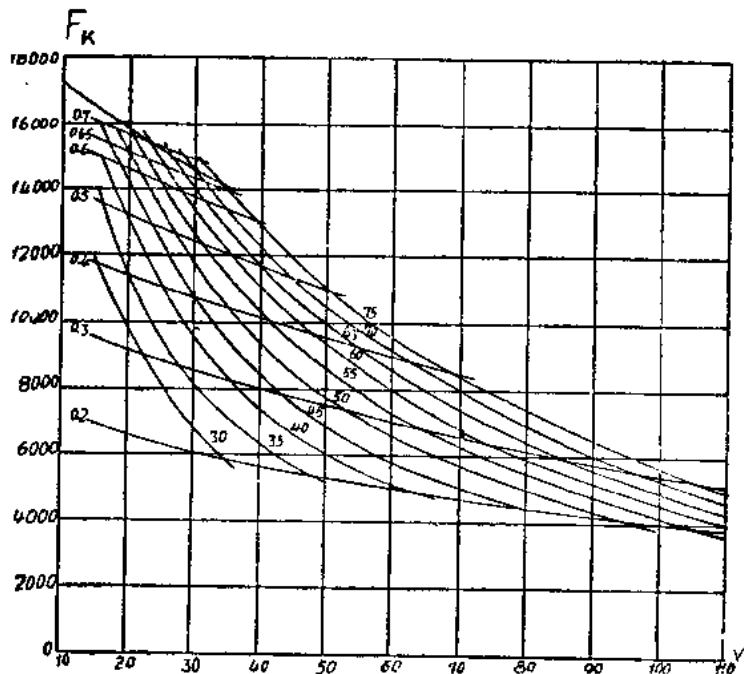


图20—9 人民型蒸汽机车牵引力曲线图

計遮斷比稍為小些，目的是使機車留有一定的余力，以克服在運行中遇到意外的阻力。一般來講，計算遮斷比與最大遮斷比的相差數：貨運機車為5~10%，客運機車為10~30%。

計算速度 v_p 是計算機車在限制坡道上牽引重量的依據，也是校驗能否利用動能闖過較陡上坡道時所取的末速度值。它是合理發揮鍋爐蒸發能力的最低速度。機車各部分設計配合適當時，粘着牽引力、汽缸牽引力和鍋爐牽引力這三根曲線可以相交於一點，如圖20—5中之a點。這個交點所對應的速度一般就作為計算速度 v_p ，如圖中的 V_p 為20公里/小時。因為，此時蒸汽機車三個部分的工作能力都能充分利用。對應着計算速度 V_p 的牽引力稱為計算牽引力。在計算牽引重量時即取用這個牽引力值。

當三個牽引力曲線不交於一點時，則以其中牽引力較低的一個交點所對應的速度作為計算速度 v_p 。但這並不是絕對的，可以根據鐵路運輸的需要、技術經濟的條件等各方面來決定機車的計算速度。

機車起動牽引力 F_{kmp} 是校驗機車能否按起動條件牽引列車重量的依據。通常按速度5公里/小時的粘着牽引力、或最大汽缸牽引力兩個中的較小一個計算。採用5公里/小時的粘着牽引力，而不採用速度為零時的粘着牽引力，其理由是：（1）粘着系數的變動範圍較大， F_{kmp} 不宜取得過高；（2）一般司機在起動列車時採用壓縮車鈎的方法，車列可以逐輛起動，車列的平均最大單位阻力不是發生在機車起動時，而是發生在速度為5公里/小時左右時。

茲將我國主型蒸汽機車的 F_{kmp} 、 Z_{mp} 、 ϵ_p 和 V_p 值，列成表20—1，以供參考。

表20—1

機 型	F_{kmp}	ϵ_p	V_p	Z_{mp}
建設型	22880	0.60	26	75
和平型	28500	0.65	27	70
解放型（現代化）	21800	0.70	21	65
解放型	21650	0.75	15	55
友好型	27900	0.60	26	65
勝利型	—	0.70	23	55
人民型	—	0.65	28	65

二、蒸汽機車功率曲線

蒸汽機車牽引特性曲線，除繪出機車牽引力曲線圖以外，還可繪出機車功率曲線圖。機車牽引力與機車輪周功率的關係可用下式表示：

$$N_k = \frac{F_k \cdot V}{270} \text{馬力。}$$

因此，有了機車牽引力曲線圖， $F_k = f(v, \epsilon, Z_m)$ 就可按上述公式計算 N_k 值，並繪出按粘着系數、不同遮斷比 ϵ 、不同供汽率 Z_m 和不同速度 v 時的機車功率曲線圖，即 $N_k = f(V, \epsilon, Z_m)$ 。

圖20—10和圖20—11就是用上述方法繪出的建設型和解放型蒸汽機車的功率曲線圖。

圖中註明0.1, 0.2, 0.3……等是按遮斷比和速度變化的機車功率曲線，或稱汽缸功率曲線；註明30, 40, 50……等是按供汽率和速度變化的機車功率曲線，或稱鍋爐功率曲線。

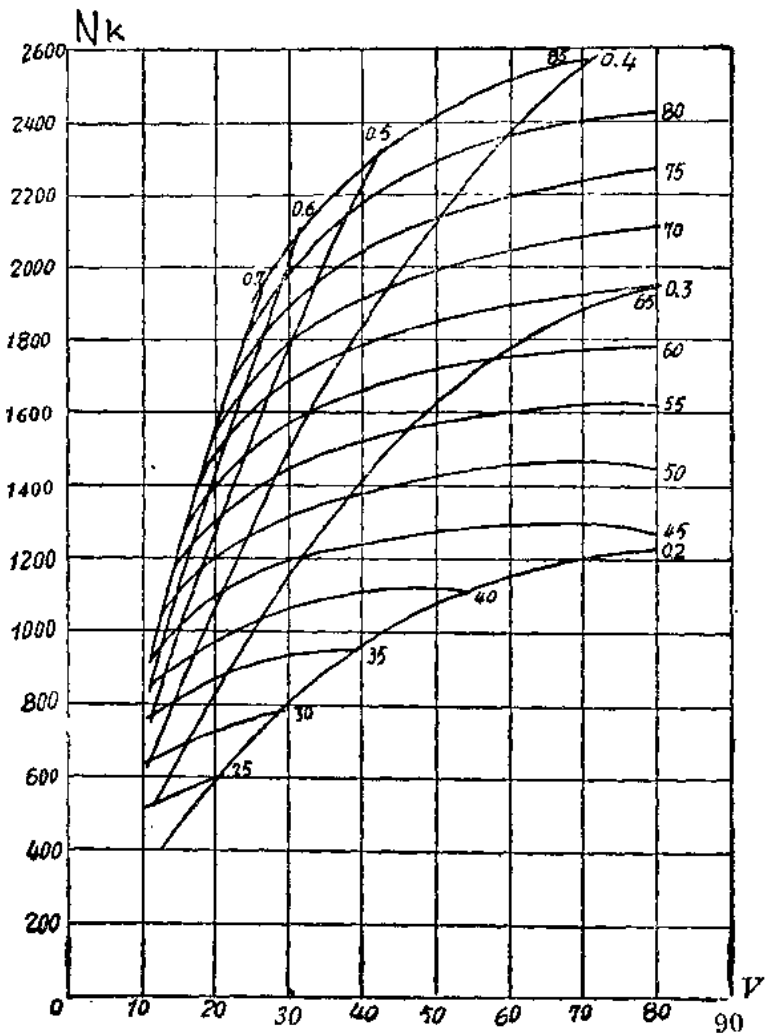


图20—10 建設型蒸汽機車的功率曲綫

機車功率曲綫隨速度的增高而上升。大遮斷比的汽缸功率曲綫上升得較快，小遮斷比的汽缸功率曲綫，和鍋爐功率曲綫上升得較慢，在高速時，則趨於平坦。有的機車由於汽耗率 U/N_k 在高速時上升的緣故，機車功率曲綫在高速時將逐漸下降。現代化蒸汽機車，如我國和平型、建設型機車，非但機車功率大，而且在高速時汽耗率並不增大，因而功率亦不會隨之降低，所以它們的功率特性是比較好的。

上述蒸汽機車牽引力曲綫和功率曲綫稱為蒸汽機車的牽引特性曲綫。

另外在第三章里和第六章里講過的鍋爐特性曲綫和汽機特性曲綫又稱為蒸汽機車的熱工特性曲綫，它們表示機車在用汽和用煤方面的經濟性。

根據牽引特性曲綫和熱工特性曲綫，可以評定蒸汽機車的基本性能。因此，它們不僅是進行牽引計算的依據，而且對於比較各型機車的優缺點和特點、對於經濟合理地運用機車，以及對於機車進行技術革新和設計新型機車等一系列問題，都有重要的指導意義。

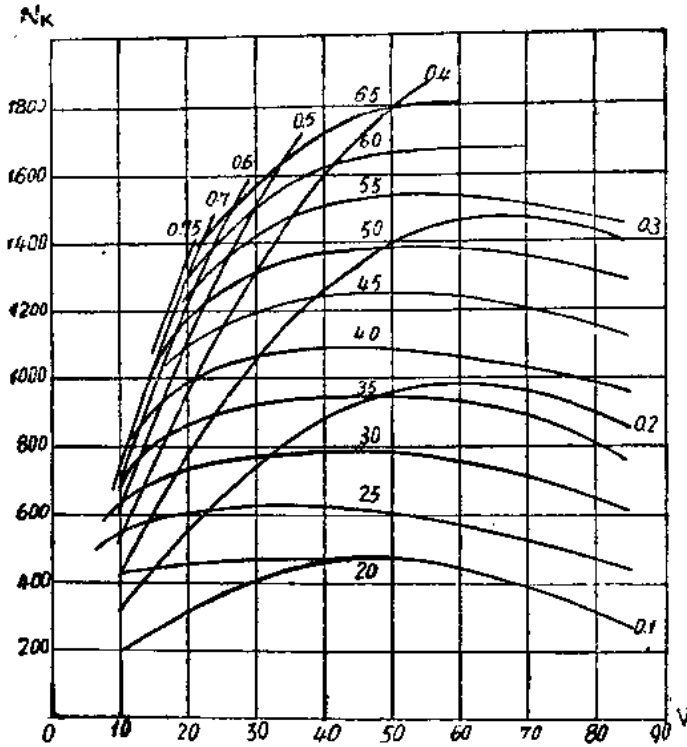


图20—11 解放型蒸汽机车的功率曲线

第二十一章 内燃机车牵引力

§21—1 内燃机车牵引力概述

内燃机车发动机将燃料的化学能转变为内机械功。机械传动或液力传动内燃机车的内机械功，通过传动装置传到机车动轴上的齿轮箱，从而驱动动轮，再通过轮轨间的粘着关系，将内机械功转变为牵引力外功。电传动内燃机车的内机械功通过主发电机转化为电能，电能通过牵引电动机又变为内机械功，此机械功通过一对齿轮驱动动轮，同上述情况一样，最后通过轮轨间的粘着关系，将机车的内机械功转变为牵引力外功。

因此，内燃机车牵引力也受三个可变部分的影响，为：粘着牵引力、发动机牵引力和传动装置牵引力三种，兹分述如下：

一、内燃机车粘着牵引力

内燃机车牵引力受粘着重量限制的道理与蒸汽机车相同。内燃机车粘着牵引力也按公式(20—4a)计算， $F_k \leq 1000 P_k \psi_k$ ，公斤。但是，与蒸汽机车相比，内燃机车的计算粘着系数 ψ_k 比较大，原因是：

1) 内燃机车，一般都不用象蒸汽机车那样以曲柄摇连杆机构传递力，而是通过传动装置以齿轮传递，因而内燃机车牵引力，在动轮转动一周中变化很小，牵引力不均率 μ 比蒸汽机车的小得多；

2) 内燃机车的粘着重量比较稳定，不象蒸汽机车那样，由于垂直方向动力作用而使粘着重量发生较大的变化；