

高等学校教学用书

内燃機車的液力傳動

И. Ф. 謝米恰斯脫諾夫 著

人民鐵道出版社

高等学校教学用書

內燃機車的液力傳動

И·Ф·謝米恰斯脫諾夫 著

上海交通大學內燃機車教研組 譯

人民鐵道出版社

一九五八年·北京

隨着鐵路運輸事業的日益發展，出現了新型牽引動力，如內燃機車、燃氣輪機車。目前在這二種機車上多採用着電力傳動裝置和液力傳動裝置，此二者孰優孰劣，至今尚未有定論。

寫作本書的目的是為了說明內燃機車液力傳動裝置的理論和設計方法，並附有具體的計算例題，以供教學以及選擇和設計傳動裝置時參考之用。

原書經蘇聯高等教育部批准作為高等學校『機車製造』專業的『機車傳動裝置』課程的教學參考書。

本書除作高等學校教材外，並可供從事內燃機車及燃氣輪機車的設計、製造、運用工程師、技術員以及其他有關人員參考。

本書由上海交通大學內燃機車教研組張耀芳、童祖楹、張益傑、陳文榮、張壽愷譯出，由張耀芳總校，並經柴志明審閱。

內燃機車的液力傳動

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ПЕРЕДАЧИ ТЕПЛОВОЗОВ

蘇聯 И·Ф·СЕМИЧАСТНОВ 著

蘇聯國家機器製造書籍出版社（1956年莫斯科俄文版）

МАШГИЗ Москва 1956

上海交通大學內燃機車教研組譯

人民鐵道出版社出版（北京市霞公府17號）

北京市書刊出版業營業許可証出字第010號

新華書店發行

人民鐵道出版社印刷廠印（北京市建國門外七聖廟）

書號917 開本 $850 \times 1168 \frac{1}{2}$ 印張 $6 \frac{3}{8}$ 插頁1 字數157千

1958年4月第1版

1958年4月第1版第1次印刷

印數0001—1,100冊 定價（10）1.10元

目 录

緒論	1
第一章 液力傳动用的工作液体	2
§ 1. 液体力学簡要知識	2
§ 2. 液力傳动用的工作液体	9
第二章 对内燃机車傳动裝置所提出的要求	12
第三章 容积式液力傳动裝置	16
§ 3. 迴轉式傳动裝置	16
§ 4. 帶有活塞式泵及迴轉式渦輪机的容积式傳动裝置	19
§ 5. 容积式液力傳动裝置的基本关系	21
第四章 渦輪式液力傳动裝置發展簡史	27
第五章 渦輪变扭器和渦輪耦合器的計算	35
§ 6. 渦輪机械的基本方程式	35
§ 7. 單級式渦輪变扭器的分类	38
§ 8. 設計第一类渦輪变扭器时主要尺寸的決定	40
§ 9. 決定第二类渦輪变扭器的主要尺寸	56
§ 10. 用类比法決定渦輪变扭器工作輪的主要尺寸	59
§ 11. 渦輪耦合器的計算	61
第六章 渦輪变扭器与渦輪耦合器的能量平衡	65
§ 12. 第一类渦輪变扭器的能量平衡	65
§ 13. 渦輪变扭器內的損失	68
§ 14. 第二类渦輪变扭器的能量平衡	83
§ 15. 渦輪耦合器的能量平衡	84
第七章 繪制渦輪变扭器与渦輪耦合器的特性曲綫	85
§ 16. 渦輪变扭器的特性曲綫	85
§ 17. 渦輪耦合器的特性曲綫	94

第八章	决定渦輪變扭器工作輪葉片的形狀	96
§18.	等角的射影	96
§19.	决定渦輪變扭器泵輪葉片的形狀	100
§20.	叶片模型切面的繪制	105
§21.	制造渦輪變扭器泵輪的型心盒	107
第九章	液力傳动裝置的調節	108
§22.	渦輪變扭器的調節	108
§23.	渦輪耦合器的調節	112
第十章	內燃機車液力傳动裝置的主要类型	117
§24.	帶有渦輪耦合器的變速箱	117
§25.	具有變速箱的渦輪變扭器	128
§26.	渦輪變扭器和渦輪耦合器	139
§27.	渦輪變扭器和二只渦輪耦合器	145
§28.	二只渦輪變扭器	158
§29.	复合式液力傳动裝置	162
§30.	三只依次工作的渦輪變扭器	163
第十一章	內燃機車液力傳动裝置的計算方法	168
§31.	决定机械增速器的傳动比	168
§32.	帶有變速箱和渦輪耦合器的液力机械式傳动裝置	172
§33.	具有渦輪變扭器和變速箱的液力机械式傳动裝置	175
§34.	具有渦輪變扭器和二只渦輪耦合器的液力傳动裝置	178
第十二章	內燃機車液力傳动裝置的計算示例	183
§35.	具有二只渦輪變扭器和一只渦輪耦合器的液力傳动裝置 計算示例	183
§36.	具有渦輪變扭器和變速箱的液力傳动裝置的計算示例	202
	参考文献	206

第 一 章

液力傳动用的工作液体

§1. 液体力学簡要知識

理想液体。在液体力学及液力机械中，为了在理論上研究液体的运动問題，採用了所謂理想液体的抽象概念。

所謂理想液体就是一种绝对不可压缩的液体，沒有粘性，分离时也不显示阻力。

對於理想液体的微小流束在不穩定流动时用的伯努利方程具有下列形式：

$$\frac{p}{\gamma} + z + \frac{v^2}{2g} + \int \frac{1}{g} \cdot \frac{\partial v}{\partial t} ds = f(t),$$

式中 $f(t)$ 由作用於液体上外力的規律而定；

$$\int \frac{1}{g} \cdot \frac{\partial v}{\partial t} ds \text{ 項称为慣性头。}$$

在穩定流动时对二个断面 1 和 2 方程具有下列形式：

$$\frac{p_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g},$$

式中 p ——压力，公斤/公尺²；

v ——速度，公尺/秒；

γ ——重率，公斤/公尺³；

z ——液体水平面位置距基准面高度，公尺；

s ——微小流束長度，公尺；

g ——自由落体加速度，公尺/秒²。

实际液体本身的質点沒有足够的活动性，作用在質点間的粘着力和摩擦力使液体产生了黏性。

对微小流束的实际液体，伯努利方程具有下列形式：

$$\frac{p_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + h_n,$$

式中 h_n ——沿流束長度上的損头，公尺。

实际液体全部液流在稳定流动情况下，对二个緩变流截面的伯努利方程具有下列形式：

$$\frac{p_1}{\gamma} + z_1 + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_n,$$

式中 α_1 和 α_2 ——液流动能分配不均匀系数。

实用上使系数 $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$ ，在式中可以看出，其不准确性被按經驗公式决定的項目所抵償了。

液体黏性的特征可由三个系数来说明：

(a) 动力黏性系数 μ ，公斤·秒/公尺²；

(б) 运动黏性系数 ν ，公尺²/秒

$$\nu = \frac{\mu}{\rho},$$

式中 ρ ——液体密度，公斤·秒²/公尺³；

(в) 条件黏性系数 BY_t ，單位是BY度，这里附标 t 表示在进进行度量时的溫度。

因为在計算时公式中包含有运动黏性的單位，那末为了近似地把条件黏性單位換算到运动黏性單位起見，可利用圖表或經驗公式

$$\nu = 10^{-6} \left(7.31 BY - \frac{6.31}{BY} \right) \text{公尺}^2/\text{秒}。 \quad (1)$$

条件黏性系数及运动黏性系数都随着溫度而改变。

對於黏性在 $6^\circ BY_{50}$ 以下的矿物油，当溫度在 $30 \sim 150^\circ C$ 其运动黏性系数由下式决定

$$\nu_t = \nu_{50} \left(\frac{50}{t} \right)^n, \quad (2)$$

式中 ν_t ——温度为 t 时的运动黏性系数，公分²/秒，指数 n 由条件黏性决定之：

当 $By_{10} =$	1.2	1.5	1.8	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
$n =$	1.39	1.59	1.72	1.79	1.99	2.13	2.24	2.32。

除温度外，液体的黏性还随压力的变化而变化。

在压力不太大时可以忽视压力对黏性的影响，因为这个影响只有压力在50公斤/公分²或以上时才明显地表现出来。

在温度较高时油的黏性变化比温度较低时为少。

混合油的黏性由下式决定：

$$By = \frac{aBy_1 + bBy_2 - k(By_1 - By_2)}{100}, \quad (3)$$

式中 By ——所求的混合油黏性， By 度；

a 和 b ——混合油中各成份所佔的百分比（ $a+b=100$ ）；

By_1 和 By_2 ——各成份的黏性， By 度，而 $By_1 > By_2$ ；

k ——与 a 和 b 有关的經驗系数（表1）。

系数 K 和混合物組成部份百分比的关系

表 1

a	b	k	a	b	k
10	90	6.7	50	50	25.5
20	80	13.1	60	40	27.9
30	70	17.9	70	30	28.2
40	60	22.1	90	10	17.0

重率。石油产品的重率与温度的关系如图1所示。

为了决定温度不同於 $20^{\circ}C$ 时石油产品的重率，必需自所給温度沿横座标軸引出垂直綫到重率是 γ_{20} 的直綫，再轉向縱座标軸就得到了在所給温度下的重率数值，如图1中帶有箭头的直綫所示。

膨胀系数。石油产品的体积和温度的关系如下式所示：

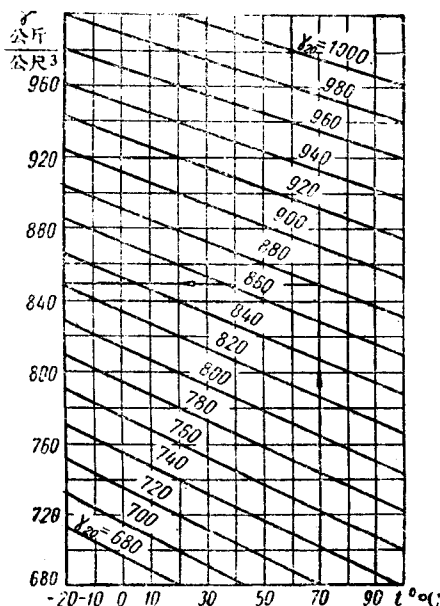


圖1. 石油产品的重率 and 温度的关系。

式中 t ——加热温度；

δ_{15} ——当温度为 15°C 时石油产品的比重。

石油产品混合物的比热

$$V_2 = V_1[1 + \alpha(t_2 - t_1)], \quad (4)$$

式中 V_2 和 V_1 ——温度为 t_2 和 t_1 时石油产品的体积； α ——由表 2 决定的膨胀系数。

石油产品的比热 [2] ①。在苏联为了决定石油产品的比热而采用下列公式：

$$c_s = (0.345 + 0.000886t)(2.1 - \delta_{15}) \text{ 大卡/公斤}, \quad (5)$$

石油产品的平均膨胀系数 α 和比重的关系

表 2

比 重	α	比 重	α	比 重	α
0.70~0.72	0.001255	0.80~0.82	0.000937	0.90~0.92	0.000688
0.72~0.74	0.001183	0.82~0.84	0.000882	0.92~0.94	0.000645
0.74~0.76	0.001118	0.84~0.86	0.000831	0.94~0.96	0.000604
0.76~0.78	0.001054	0.86~0.88	0.000782	0.96~0.98	0.000564
0.78~0.80	0.000995	0.88~0.90	0.000734	0.98~1.00	0.000526

① 方括弧中表示参考书籍的号次，它的目录引列於书后。

$$c_m = c_1 m_1 + c_2 m_2 + c_3 m_3 + \dots,$$

式中 c_m ——混合物比热;

c_1, c_2, c_3 ——各成份比热;

m_1, m_2, m_3 ——各成份重量。

石油产品的传热性。石油产品的热传导系数

$$\lambda_z = \alpha(1 + 0.02t) \text{ 大卡/公分秒}^\circ\text{C},$$

對於鏈子油 $\alpha = 0.0003$, 對於機器油 $\alpha = 0.00027$ 。

黏性液体运动时的能量損失。实际液体作任何运动时均有部份能量消耗於阻力之上。

在沿着不变截面管道(通道)运动时的摩擦損头和与液流速度激劇变化有关的局部損头是有区别的。

摩擦損头可用下式表示:

$$h_n = \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} = \lambda \frac{l}{R} \cdot \frac{v^2}{8g}, \quad (6)$$

式中 l ——管道(通道)长度, 公尺;

v ——液流速度, 公尺/秒;

R ——液力半径, 公尺 ($R = \frac{F}{U}$);

d ——管子直径, 公尺;

F ——有效截面面积, 公尺²;

U ——湿周, 公尺;

λ ——摩擦系数, 决定於由雷诺数〔6〕所表明的液体运动状态。

当层流状态时 ($Re \leq 2320$), 油在光滑管中的运动是

$$\lambda = \frac{75}{Re}; \quad (7)$$

当紊流状态时 ($2320 < Re < 10^5$)

$$\lambda = 0.3164 Re^{-0.25}; \quad (8)$$

当 $Re > 10^5$ 时

$$\lambda = \frac{1}{(1.8 \lg \text{Re} - 1.5)^2} \quad (\text{科那可夫}); \quad (9)$$

$$\lambda = \frac{0.31}{\lg\left(\frac{\text{Re}}{\text{Re} \cdot \frac{\Delta_n}{d} + 7}\right)^2} \quad (\text{阿塔苏尔}), \quad (10)$$

式中 d ——管子直徑；

Δ_n ——計算粗糙度，由專門表格決定。

局部損頭由下式決定：

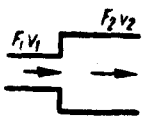
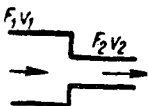
$$h_n = \zeta \frac{v^2}{2g}, \quad (11)$$

式中 ζ ——局部阻力系数，用實驗方法測定。

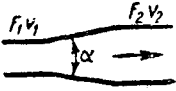
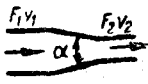
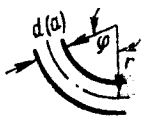
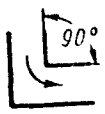
對於最常見的局部阻力系数 ζ 引列於表 3 中。

典型的局部阻力系数〔6〕

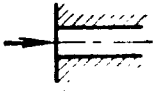
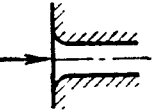
表 3

局部阻力型式	簡 圖	局 部 阻 力 系 数
突然膨脹		$h_n = \zeta \frac{v_1^2}{2g}$ $\zeta = \left(1 - \frac{F_1}{F_2}\right)^2$
突然收縮		$h_n = \zeta \frac{v_2^2}{2g}$ $\zeta = \frac{\zeta_1}{\zeta_0} + \left(\frac{1}{\zeta_0} - 1\right)^2$ $\zeta_1 = 0.005 \sim 0.05$ $\zeta_0 = 0.62 \sim 0.63 \quad (\text{进口帶有銳边})$ $\zeta_0 = 0.7 \sim 0.99 \quad (\text{进口帶有圓边})$

續表 3

局部阻力型式	簡 圖	局 部 阻 力 系 数
逐漸膨脹 (漸扩管)		$h_n = \zeta \frac{v_1^2}{2g}$ $\zeta = 0.15 \sim 0.2 \left(1 - \left(\frac{F_1}{F_2} \right)^2 \right)$ 当 $\alpha = 8^\circ$ 时 $\zeta = \sin \alpha \left(1 - \frac{F_1}{F_2} \right)^2$ 当 $8^\circ < \alpha < 30^\circ$ 时 $\zeta = \left(1 - \frac{F_1}{F_2} \right)^2$ 当 $\alpha > 30^\circ$ 时 最小損失在 $\alpha = 10 \sim 12^\circ$ 时获得, 該时 $\zeta = 0.2$
逐漸收縮 (漸縮管)		$h_n = \zeta \frac{v_2^2}{2g}$ $\zeta = 0.005 \sim 0.06 (\alpha < 5^\circ)$ $\zeta = 0.16 \sim 0.24 (7^\circ < \alpha < 30^\circ)$
液流轉弯: (1) 圓角 (a) 圓断面 (6) 正方形断面 (2) 直角弯管 (3) 帶有导向叶片的直角弯管	  	$\zeta = 0.14 \sim 0.3$ $\frac{d}{r} = 0.4 \sim 1.0 \text{ 和 } \varphi = 90^\circ$ 当其他 φ 时 $\zeta \varphi = \zeta_{90^\circ}$ $\zeta = 0.13 + 0.16 \left(\frac{a}{r} \right)^{3.5}$ $\zeta = 1 \sim 1.5$ $\zeta = 0.25 \sim 0.4$

續表 3

局部阻力型式	簡 圖	局 部 阻 力 系 數
进入管子: 管口帶有銳邊		$\zeta=0.5$
管口帶有圓邊		$\zeta=0.02\sim0.1$ 与圓角半徑有关
由管子进入大尺寸的 容器		$\zeta=1.0$

§2. 液力傳动用的工作液体

液体的重率愈大，則液力傳动裝置的尺寸愈小。因此曾有人企圖利用最重的液体——汞来作为液力傳动裝置的工作液体。但是由於下列理由使汞不能作为工作液体：汞的蒸汽對於工作人員是有害的，汞具有表面不可潤湿的特性，而且不宜作为摩擦面的潤滑剂。

液力傳动裝置最常用的液体是水和矿物油，它們的採用与傳动裝置的应用地点有关。例如，水应用於船舶的傳动裝置。在这些情况里不需要裝置冷却器来冷却工作液体，因为可將船边的水供应到傳动裝置中去，而由傳动裝置中出来的溫水自船边流出。但是在大多数裝置中水是不良的工作液体。这时軸承必需細心地加以隔离，这就使傳动裝置的尺寸增大。此外，傳动裝置必需用耐蝕的金屬制成。

如採用水，則所求得的液力傳动裝置的尺寸比用油情况下要小一些。

与油比較水具有某些优点：它不会产生持續性的泡沫（泡沫

減低了被傳送的功率)，水的比熱比油大一倍，熱傳導系數比油大四倍。

內燃機車上液力傳動裝置的工作液體要採用上等的礦物油。這主要是由於液力傳動總是與齒輪傳動製造在一起，工作油可以同時作為齒輪和軸承潤滑之用。

對於液力傳動裝置上的油類提出了下列要求[13]，[11]，[18]：

1. 油應該具有潤滑的能力。
2. 為了避免產生較大的液力損失起見，油的黏性條件必需是 $By_{50}^{\circ} = 2 \sim 3$ 。
3. 當溫度改變時油的黏性不應該改變得太大。
4. 油內不應該含有皂脂，否則就會產生持續性的泡沫，這就降低被傳送的功率。

用於液力傳動裝置中的某些油類的物理 - 化學性質 表 4

名 稱	錠子油		機器油	軸承油		渦輪機油		變壓器油
	12	20	30	3	C	22	30	—
	ГОСТ 1707-51		ГОСТ 1707-51	ГОСТ 610-48		ГОСТ 32-53		ГОСТ 982-53
比重, 克/公分 ³ *	0.876—0.891	0.881—0.901	—	—	—	0.901	0.901	0.896
50°C時的黏性:								
(a) 運動黏性, 厘司徒克	10—14	17—23	27—33	20—25	12—14	20—23	28—32	不大於 9.6
(б) 相應的條件黏性, By°	1.86—2.26	2.6—3.31	3.81—4.59	3.0—3.5	2.0—2.2	2.9—3.2*	3.5—4.5*	不大於 1.8*
閃點, °C (在無蓋坩堝中定出)	165	170	180	130	125	180	180	135
凝固溫度 (°C) 不大於	-30	-20	-15	-40	-55	-15	-10	-45

* 在ГОСТ中無附加說明

5. 油的閃点，也就是当火焰移近时油的蒸汽發生閃火时的溫度，不應該低於 160°C 。

6. 油的凝固溫度不應該高於 -30°C 。

7. 在运用时油的正常溫度应在 $70\sim 80^{\circ}\text{C}$ 的範圍之內，因为当溫度再高时油就开始喪失其潤滑特性。

8. 油不應該含有能溶於水的酸类及鹼类，因为它们將引起另件的腐蝕。

9. 油中應該不含瀝青，因为高溫时后者將被分离，並沉积在管道的內壁及閥和孔道的通过截面上。

为了延長矿物油类的使用期限，在油中加了一些抗氧化剂，對於渦輪机油及变压器油这些抗氧化剂是对苯二酚及苯胺。

液力傳动裝置中所採用油类的特性列在表4上。

對於上述大多数油类的黏性和溫度的关系曲綫繪在圖2上。

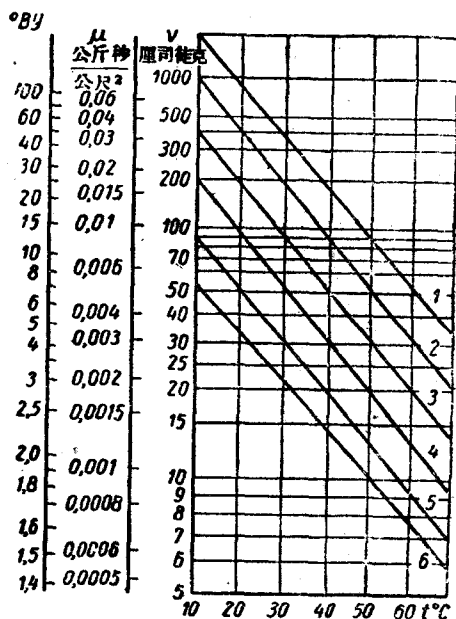


圖2. 某些油类的黏性和溫度的关系曲綫：

1——2号汽缸油； 2——45号機器油； 3——30号機器油； 4——22号渦輪机油及 20号鋁子油； 5——12号鋁子油； 6——变压器油。

第 二 章

对內燃機車傳动裝置所提出的要求

機車在非常复杂的条件下工作。他們牽引着不同重量的列車。在某些情況下機車單機行駛。各綫路的縱断面由於自然条件是不同的，因而機車不得不牽引着列車經過平道、下坡与上坡。

在特殊情況下（旅客列車高速运行时，在紧急制动及調車工作时）最好用機車进行制动，为此它必需作負功。所以，機車的牽引力及速度必需能自零改变到最大可能的数值。

由此可見，對於機車动力裝置的特性曲綫要求具有相当的柔軟性。

裝設在機車上的柴油机，虽然經濟性較高，但可惜不具备自动調節的重要性質。

最初，把內燃机应用到機車上的問題用二个方法解决：

1. 制造專門的，把力矩直接傳遞給內燃機車輪对的牽引內燃机。

В. И. 格利涅凡茨基教授〔4〕在莫斯科高等工業学校內对这方面曾进行了巨大的工作，並且在那里制成及試驗了本身結構可逆轉的發动机。

莫斯科高等工業学校內与格利涅凡茨基教授一起研究制造內燃机問題的还有他的学生 А. Н. 謝列斯特教授〔20〕。

还在学生时代，А. Н. 謝列斯特就提出了新的內燃机工作原理。这种發动机不从曲軸送出能量，而是产生一定压力及溫度的燃气，因此这种發动机就被称为机械式燃气發生器。被壓縮的气体就用来驅動燃气輪机或活塞式發动机。

謝列斯特教授的第一个机械式燃气發生器是四冲程的。由於沒有从机械式燃气發生器的軸上輸出能量，所以以后就开始

根据二冲程循环把机械式燃气發生器做成無軸的，或称它是自由活塞式燃气發生器。

在他最后几年的生活中，A. H. 謝列斯特致力於具有無軸的活塞式燃气發生器和燃气輪机的內燃機車設計工作。

曾經提出很多种關於適合於機車上工作的內燃机的方案，然而專門用在機車上並直接傳遞力矩給輪对的牽引發动机的制造工作，到目前为止尚未越出試驗阶段。

2. 在柴油机和內燃機車輪对之間建造可靠的傳动裝置，来改变柴油机柔軟性的不足和使它能适合鐵路服务的条件。

現在我們来研究，怎样的特性曲綫才能适合鐵路服务条件的需要以及柴油机具有怎样的特性曲綫。当柴油机裝設到機車上后，則使用它的全部功率，也就是在 N_{ki}, F_{ki} 列車所有的运动状态中功率保持不变是合理的。

从輪周牽引力的公式得

$$N_k = N_n \eta_n = \frac{F_k V}{270} = \text{常量}, \quad (12)$$

当 $\eta_n = 1.0$ 时有

$$F_{ki} V = N_{ki} 270 = C = \text{常量},$$

由此可見，牽引力和速度的关系应按双曲綫而改变（圖 3）。

这里 N_k ——輪周功率，馬力；

N_n ——傳动功率；

η_n ——傳动效率；

F_k ——輪周牽引力，公斤；

V ——機車速度，公里/小时；

F_{ki} 与 N_{ki} ——当 $\eta_n = 1$ 时的理想牽引力及理想功率。

圖 4 上引列了柴油机的特性曲綫。

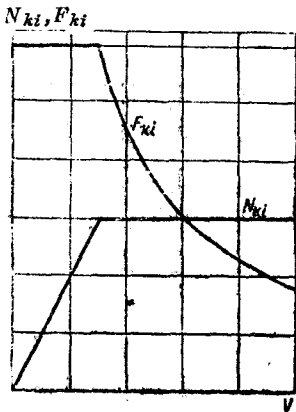


圖3. 機車理想牽引特性曲綫：

F_{ki} 及 N_{ki} ——不考虑損失的輪周牽引力及輪周功率。