

電力驅動習題集

蘇聯阿·維·法切耶夫 布·伊·諾爾遑夫斯基編 斯·阿·林開維奇校

鍾兆璠譯

燃料工業出版社

電力驅動習題集

蘇聯阿·維·法切耶夫 布·伊·諾爾遄夫斯基編 斯·阿·林開維奇教授校

鍾 兆 琥譯

蘇聯高等教育部審定作為電機工程系參考教材

燃料工業出版社

內 容 提 要

本書搜集了與電力驅動理論有關的各問題（電動機底機械特性、電力驅動底靜態力學和動態力學、依發熱條件為依據的電動機選擇等）底示例和習題二百餘則。

本書是供電機工程系和動力工程系的學生用的；但對於實際工作崗位上的工程師，它也具有參考價值。

* * *

電 力 驅 動 習 題 集

СБОРНИК ПРИМЕРОВ И ЗАДАЧ ПО ТЕОРИИ
ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРИВОДА

根據蘇聯國立動力出版社(ГОСЭНЕРГОИЗДАТ)
1951年莫斯科俄文修正第三版翻譯

蘇聯 А. В. ФАТЕЕВ Б. И. НОРНЕВСКИЙ 編 С. А. РИНКЕВИЧ 校
鍾 兆 琥 譯

燃料工業出版社出版

地址：北京東長安街燃料工業部

北京市書刊出版營業許可證出字第012號

北京市印刷一廠排印 新華書店發行

編輯：顧維瀛 校對：唐寶珊

書號248 * 電109 * 850 × 1092 1/16 開本 * 10 3/4 印張 * 343 千字 * 定價19,500元
一九五四年十月北京第一版第一次印刷(1—5,200冊)

第三版序言

本習題集是爲了幫助有志研究電力驅動底理論和電力驅動底控制等問題的讀者而編撰的。這本集子的主要任務是要使讀者熟悉利用電力驅動教科書中所敘述的原理的基本方法，並學會如何運用實際工作中很易獲得的各種資料。現代電力驅動是基本上自動化了了的。它是一種相當複雜的裝置，能按照生產過程的嚴格要求來完成各種各樣的職務。因此，正確選擇電力驅動系統底各元件，以及需要的電動機特性，對於生產機械的運行會起重大的影響。電力驅動底主要環節乃是電動機，所以它的性能底研究在本書中佔據的篇幅最多。本書特別着重機械特性底繪製法與電動機起動和制動底條件。在佔有相當大的篇幅的第五章內收集了與電動機底自動控制有關的，從現代技術條件看來有重要意義的各問題。

俄國科學院院士雅科比 (Б. С. Якоби) 在 1834 年創造了第一台電動機，他用這台電動機來驅動一隻快艇，後者的速率達到了每小時 4.8 公里。從雅科比創造第一台電動機到現在已經經歷了 117 個年頭了 (本書原文係在 1951 年出版——譯者)。在這個時期內我國 (指蘇聯，以下同——譯者) 的科學家把電力驅動的各種問題在理論上的探討和在實際中的應用都向前推進了一大步。契可列夫 (В. Н. Чиколев) 在 1882—1886 年間發表的著作、伏依拿羅夫斯基教授 (Войнаровский) 在 1900 年和季米特里耶夫教授 (В. В. Димитриев) 在 1903 年出版的書是電力驅動理論方面的最早理論著作和教科書。這些創作奠定了堅固的基礎，使蘇聯的電力驅動學理能够在這個基礎上建立起來，並且發展到現在的領導位置。蘇聯的電力驅動方面的科學家深刻地研究了電力驅動底理論問題和它的實際應用。1925 年出現了林開維奇 (С. А.

Ринкевич) 教授底有系統的教科書「機械能底電氣分佈法」(Электрическое распределение механической энергии), 接着出版了波波夫(В. К. Попов)教授底「電動機在工業中的應用」(Применение электродвигателей в промышленности-1932), 以及莫羅佐夫(Д. П. Морозов)教授和其他著者底許多著作, 在這些著作底基礎上蘇聯的電力驅動科學日臻完善, 並且正在繼續發展着。

電力驅動理論底示例與習題底第一版由著者們於1937年出版。本書版本是修訂第三版。在編寫本書的時候, 著者們曾經想要對於電氣機械和發熱底過渡歷程給予特殊的注意。但是這樣辦會大大增加這本書底篇幅, 因此又不得不放棄這一企圖而僅在書中編入少數的最簡單的例子。

著者們在此特向對於頭兩版曾經提出意見的讀者們表示謝意, 並且懇求這一版的讀者提出意見與自己的願望, 以便再版時採納。來函請寄: 蘇聯, 列寧格勒, 國立動力出版社(СССР, Ленинград, Невский пр., Д. 28, Госэнергоиздат)。

著 者

目 錄

第三版序言

本書所用主要字母符號表	5
-------------	---

第一章 電力驅動底力學	9
-------------	---

§ 1. 求作用在驅動各部分的力和力矩，不計傳動裝置內損耗	9
§ 2. 計入傳動損耗時求力和力矩的方法	12
§ 3. 驅動裝置與工作機各部分底慣性力矩或飛輪力矩之求法	16
§ 4. 等值慣性力矩之推算	27

第二章 電動機底機械特性起動電阻、制動電阻及調整用電阻底計算法	32
---------------------------------	----

§ 1. 分激直流電動機底機械特性	32
§ 2. 串激直流電動機底機械特性	57
§ 3. 發電機—電動機系統(可調整電壓系統)底機械特性	71
§ 4. 感應電動機底機械特性	95

第三章 過渡狀態和負載圖	107
--------------	-----

§ 1. 在恒常的動力轉矩下的機械過渡狀態	107
§ 2. 當動力轉矩與轉速成直線關係時的機械過渡狀態	130
§ 3. 運動方程式底圖解積分法	139
§ 4. 發電機—電動機系統內的過渡歷程	162

第四章 電動機底發熱	167
------------	-----

§ 1. 電動機底發熱時間常數及其測定法	167
§ 2. 電動機容量之選擇	173
§ 3. 周圍空氣溫度對於電動機運轉的影響	194

第五章 電力驅動底自動控制	196
---------------	-----

§ 1. 自動控制元件。繼電器與接觸器	196
---------------------	-----

§ 2. 依與加速過程底進行特徵有關的參數作用的電動機 控制法.....	207
(a) 電動勢原理.....	207
(б) 限制電流的原理.....	229
(в) 頻率原理.....	231
§ 3. 基於定時延(獨立時延)原理的電動機控制法.....	233
§ 4. 帶自動制動的電力驅動接線圖.....	241
§ 5. 電力驅動運轉穩定性之審核.....	252
第 六 章 某些生產機械所用電動機容量底選擇.....	266
§ 1. 抽水機和通風機.....	266
§ 2. 輸送機.....	273
§ 3. 各種機床和紡織機械.....	279
§ 4. 起重-運輸機械.....	284
單 位 縮 寫 法.....	311

本書所用主要字母符號表

符號	中 文	俄 文	英 文
A	功, 能, 散熱量	работа, энергия, теплоотдача	Work, energy
ΔA	功能損失	потеря энергии	energy loss
a	加速率	ускорение	acceleration
C	電容	ёмкость	capacitance
c	熱容量	теплоёмкость	heat capacity
D	直徑	диаметр	diameter
d	直徑	диаметр	diameter
E	電動勢	электродвижущая сила	electromotive force
e	電動勢(瞬時值)	э.д.с., мгновенное значение	emf, instantaneous value
F	力	усилие	force
$F_{дин}$	動態力	усилие динамическое	dynamic force
F_c	靜止阻力	усилие статических сопротивлений	force of static resistance
F_m	制動力	усилие при торможении	braking force
f		коэффициент трения качения	coefficient of rolling friction
G	重量	вес, магнитная	Weight, magnetic
	磁導	проводимость	permeance
g	自墜體之加速率	ускорение силы тяжести	acceleration of a free falling body
H	高度	высота	height
h	高度, 壓力以水柱高度 m 計	высота давление в мм водяного столба	height, pressure measured by the height in mm of a water column
I	電流	ток	current
$I_{ном}$	額定電流	ток номинальный	rated full-load current
I_k	短路電流	ток короткого замыкания	short-circuit current
I_m	制動電流	ток торможения	braking current
$I_{экв}$	等效電流	ток эквивалентный	equivalent current
I_a	電樞電流	ток якоря	armature current
i	電流	ток	current

續表

符號	中 文	俄 文	英 文
i_a	激磁電流	ток возбуждения	field current
J	慣性力矩	момент инерции	moment of inertia
J_∂	電動機底慣性力矩	момент инерции двигателя	moment of inertia of motor
J_M	機械底慣性力矩，折合到電動機軸	момент инерции механизма, отнесенный к валу двигателя	moment of inertia of mechanism referred to motor shaft
J'_M	機械底慣性力矩	момент инерции механизма	moment of inertia of mechanism
L	自感系數	коэффициент самоиндукции	coefficient of self induction
L	長度，距離	длина, путь	length, distance
l	長度	длина	length
M	轉矩	момент вращения	torque
M_∂	電動機底轉矩	момент вращения двигателя	motor torque
M_c	阻力轉矩，靜態力矩	момент сопротивления, момент статический	Load torque, static torque
M_M	機械軸上的轉矩	момент на валу механизма	torque referred to shaft of mechanism
$M_{ном}$	額定轉矩	момент номинальный	rated full-load torque
$M_{дин}$	動態轉矩	момент динамический	dynamic torque
M_n	起動轉矩	момент пусковой	starting torque
M_m	制動轉矩	момент тормозной	braking torque
$M_{нач}$	初瞬轉矩	момент начальный	initial torque
n	轉速	скорость вращения	speed
$n_{ном}$	額定轉速	скорость вращения номинальная	rated speed at rated torque
n_0	理想空載轉速	скорость вращения идеального холостого хода	ideal no-load speed
n_d	電動機底轉速	скорость вращения двигателя	motor speed
P	功率	мощность	power
$P_{ном}$	額定出力，容量	номинальная мощность	rated output, capacity

續表

符號	中 文	俄 文	英 文
P_0	電動機底功率	мощность двигателя	motor output
$P_{0.1}$	電動機底輸入功 率	потребляемая двигателем мощность	Power input of motor
P_M	機械底功率	мощность механизма	power consumed by mechanism
P_s	靜態功率	статическая мощность	static power
R	半徑、磁阻	радиус, магнитное сопротивление	radius, reluctance
r	電阻	электрическое сопротивление	electric resistance
S	面積	площадь	area
s	轉差率, 距離, 行程	скольжение, путь	slip, distance
T	時間常數, 週期	постоянная времени, период	time constant, period
t	時間	время, шаг зацепления	time, pitch
t_n	起動(加速)時間	время пуска (разгона)	time of starting (acceleration)
t_y	穩定運動時間	время установившегося движения	time of steady motion
t_m	制動時間	время торможения	braking time
i	傳動(變速)比	передаточное число	transmission ratio (gear ratio)
U	電壓	напряжение	voltage
v	線速度	скорость линейная	linear velocity
x	電抗	индуктивное сопротивление	reactance
z	起動電阻底段數	число ступеней пускового сопротивления	number of steps of starting resistance
γ	比重	удельный вес	specific gravity
e	自然對數底基數	основание натуральных логарифмов	base of natural logarithms
z	相對阻抗	относительное полное сопротивление переменному току	relative impedance

續表

符號	中 文	俄 文	英 文
η	效率	коэффициент полезного действия	efficiency
i	電流相對值 $\left(\frac{I}{I_{ном}}$	относительное значение тока $\left(\frac{I}{I_{ном}}$	relative value of current $\left(\frac{I}{I_{ном}}$
λ	起動電流最大值 與換接電流之 比 $\frac{I_1}{I_2}$	отношение максимального значения тока при пуске и тока переключения $\frac{I_1}{I_2}$	ratio of maximum value of starting current to switching current, $\frac{I_1}{I_2}$
μ	摩擦係數，轉矩 之相對值 $\left(\frac{M}{M_{ном}}$	коэффициент трения, относительное значение вращающего момента $\left(\frac{M}{M_{ном}}$	coefficient of friction, relative value of running torque $\left(\frac{M}{M_{ном}}$
ν	轉速之相對值	относительное значение скорости вращения $\left(\frac{n}{n_0}\right)$	relative value of running speed $\left(\frac{n}{n_0}\right)$
ρ	電阻係數，電阻 相對值	удельное сопротивление, относительное значение сопротивления $\left(\frac{r}{r_{ном}}$	resistivity, relative value of resistance $\left(\frac{r}{r_{ном}}\right)$
τ	溫昇度數，時間 相對值	температура перегрева, относительное значение времени $\left(\frac{t}{T}\right)$	
v	電壓相對值 $\left(\frac{U}{U_{ном}}$	относительное значение напряжения $\left(\frac{U}{U_{ном}}$	relative value of voltage $\left(\frac{U}{U_{ном}}$
x	電抗相對值 $\left(\frac{X}{X_{ном}}$	относительное значение индуктивного сопротивления $\left(\frac{X}{X_{ном}}$	relative value of reactance $\left(\frac{X}{X_{ном}}$
ω	角速度，角頻率	угловая скорость, угловая частота	angular velocity, angular frequency

第一章 電力驅動底力學

§ 1. 求作用在驅動各部分的力和力矩，不計傳動裝置內損耗。

I - 1.

試求在斜面上向上推動重量 $G=500$ 公斤所需的力，假設加速率 $a=4$ 公尺/秒²，斜面的傾斜角度為 $\alpha=45^\circ$ ，重量與斜面間的摩擦系數為 $\mu=0.2$ 。

答： $F=630$ 公斤。

I - 2.

有某一起重裝置如圖 I-1 所示。重量 G_1 完全為重量 G_2 所平衡。兩個重量各吊在一根掛在滑車 A 上的繩索底兩端。每一重量為 1.5 噸。

如須獲得加速 $a=1$ 公尺/秒²，試求應加於重量上的力。

摩擦阻力與滑車 A 及繩索之質量不計。

解法 爲了使重量運動必須加力

$$F = F_c + F_{\partial un}.$$

靜止阻力 F_c 等於零，因爲兩個重量互相平衡而摩擦損耗不計。

慣性阻力（即動動力）：

$$F_{\partial un} = m \frac{dv}{dt} = \frac{G_1 + G_2}{g} a = \frac{1500 + 1500}{9.81} \times 1 = 306 \text{ 公斤}.$$

$$F = F_{\partial un} = 306 \text{ 公斤}.$$

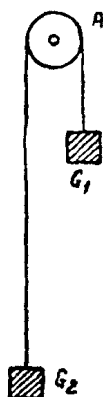


圖 I-1

I - 3.

在習題 I-2 內的起重裝置上，如果加速是由於在重量 G_2 方面另加一重量 G_3 而獲得，試求爲獲得加速 $a=1.5$ 公尺/秒² 時所

需的 G_3 底重量。

答: $G_3 = 541$ 公斤。

I - 4.

如果在習題 I-2 內的起重裝置上, $G_1 = 1.5$ 噸, $G_2 = 0.75$ 噸, 試求以加率 $a = 1$ 公尺/秒² 使 G_1 上昇所需的力。

摩擦損耗不計。

答: $F = 979$ 公斤。

I - 5.

某一鑄鐵用起重機底規範如下:

負載重量..... $G_{ip} = 3.5$ 噸

行車, 滑車與吊鉤底重量..... $G_0 = 168$ 公斤

車輪直徑..... $d_k = 20$ 公分

軸頸直徑..... $d_y = 4$ 公分

滾動摩擦系數..... $f = 0.07$ 公分

軸頸與軸承間的滑動摩擦系數..... $\mu = 0.08$

由於車輪凸緣而增加摩擦的系數..... $\alpha = 1.4$

試求以恒常速度推動行車所需的力。

解法 每一車輪所承擔的壓力為:

$$G_k = \frac{G_{ip} + G_0}{4} = \frac{3500 + 168}{4} = 915 \text{ 公斤.}$$

克服每一車輪底滾動阻力所需的力為:

$$F_k = G_k \frac{f}{0.5 d_k} = 915 \times \frac{0.07}{0.5 \times 20} = 6.4 \text{ 公斤.}$$

克服軸頸箱內的摩擦所需的力為:

$$F_y = G_k \mu \frac{d_y}{d_k} = 915 \times 0.08 \times \frac{4}{20} = 14.6 \text{ 公斤.}$$

包括凸緣摩擦所需的應力為:

$$F = 4 \times 1.4 (6.4 + 14.6) = 118 \text{ 公斤.}$$

I - 6.

假設當習題 I-5 內的起重機底行車正以速度 $v = 0.2$ 公尺/秒

在移動的時候，需要使它在 $s=1$ 公尺的距離內以均勻的減速率停止，試求需加於行車的制動力 F_m 。

答： $F_m = -111$ 公斤。

I - 7.

在圖 1-2 所示的起重裝置上， B 爲一鼓輪， A 爲一滑車，負載底重量 $G=3$ 噸。如果不計機械損耗，試求使 G 以加速率 $a=1$ 公尺/秒² 上昇時所需加於鼓輪 B 軸上的轉矩。如果負載上昇的速度 $v=0.5$ 公尺/秒，鼓輪底轉速該是多少？

鼓輪 B 底直徑 $d_b=750$ 公厘。

解法 在均勻加速的運動中，吊鈎上除了靜力負載 $G=3$ 噸以外，另有動力負載

$$m \frac{dv}{dt} = \frac{3000}{9.81} \times 1 = 306 \text{ 公斤。}$$

這樣一來，加在吊鈎上的總力等於：

$$G + m \frac{dv}{dt} = 3000 + 306 = 3306 \text{ 公斤。}$$

由於有了滑車 A ，這一總力均勻地分配在吊滑車的繩索底兩部分上（假設摩擦微小得可以不計），因此，加於鼓輪 B 的力僅爲此總力底一半，即：

$$F = \frac{3306}{2} = 1653 \text{ 公斤。}$$

鼓輪上的轉矩將爲

$$M = \frac{d_b}{2} F = \frac{0.75}{2} 1653 \approx 620 \text{ 公斤-公尺。}$$

在滑車與鼓輪之間的繩索底速度 v_m 等於鼓輪外週底速度 v_b 而必須是載重上昇速度底兩倍，就是說：

$$v_b = v_m = 2v。$$

因此，鼓輪軸底轉速爲：

$$n = \frac{60 \times 2v}{\pi d_b} = \frac{60 \times 2 \times 0.5}{0.75\pi} = 25.4 \text{ 轉/分。}$$

I - 8.

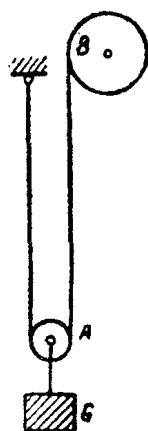


圖 1-2

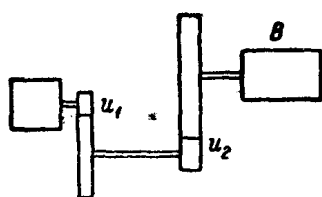


圖 I-3

試求圖 I-3 所示驅動系統內電動機軸上的轉矩，如果工作機 B 軸上的負載轉矩為：

$$M_N = 1000 \text{ 公斤-公尺,}$$

傳動底變速比各為 $u_1 = u_2 = 10:1$ 。

傳動裝置底機械損失可以略而不

計。

答： $M_0 = 10 \text{ 公斤-公尺。}$

§ 2. 計入傳動損耗時求力和力矩的方法

I - 9.

圖 I-4 所起重機械底規範如下：

每一對齒輪底效率..... $\eta_3 = 0.95$

鼓輪底效率..... $\eta_6 = 0.95$

滑車底效率..... $\eta_{n6} = 0.97$

每一對齒輪底變速比..... $u = 7:1$

鼓輪底直徑..... $d_6 = 0.8 \text{ 公尺}$

試求電動機應該產生的轉矩，轉速與功率，如果它必須以速度 $v = 0.5 \text{ 公尺/秒}$ 吊起重量 $G = 5 \text{ 噸}$ 。

解法 上昇的載重加於鼓輪的轉矩為：

$$M_6 = \frac{F_{sp} r_6}{\eta_{n6} \eta_6} = \frac{\frac{G}{2} \cdot \frac{d_6}{2}}{\eta_{n6} \eta_6} = \frac{5000 \times 0.8}{2 \times 2 \times 0.95 \times 0.97} = 1080 \text{ 公斤-公尺.}$$

傳動底中間軸上的轉矩因此等於：

$$M = \frac{M_6}{u \cdot \eta_3} = \frac{1080}{7 \times 0.95} = 163 \text{ 公斤-公尺.}$$

電動機軸上的轉矩等於：

$$M_0 = \frac{M}{u \cdot \eta_3} = \frac{163}{7 \times 0.95} = 24.5 \text{ 公斤-公尺.}$$

電動機底轉速可以從鼓輪底轉速推算，而後者則為：

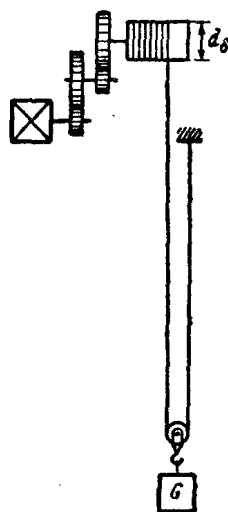


圖 I-4

$$n_0 = \frac{2v \times 60}{\pi d_0} = \frac{2 \times 0.5 \times 60}{0.8\pi} = 23.8 \text{ 轉/分,}$$

因此，電動機底轉速為

$$n = 23.8 \times 7 \times 7 = 1170 \text{ 轉/分.}$$

電動機產生的功率是它的轉矩與轉速的乘積，就是：

$$P_0 = \frac{M_0 n}{975} = \frac{24.5 \times 1170}{975} = 29.5 \text{ 瓩,}$$

它也可從負載上昇的功率推算：

$$P_0 = \frac{Gv}{102 \eta_{\text{總}}} = \frac{5000 \times 0.5}{102 \times 0.97 \times 0.95^3} = 29.5 \text{ 瓩.}$$

I - 10.

試求圖 I-5 所示鼓輪底轉矩，如果它正以加速率 $a=1$ 公尺/秒² 把重量 $G_1=1$ 噸沿斜面往上拉。鼓輪本身底慣性力矩不計。

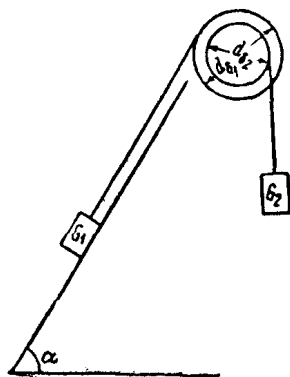


圖 I-5

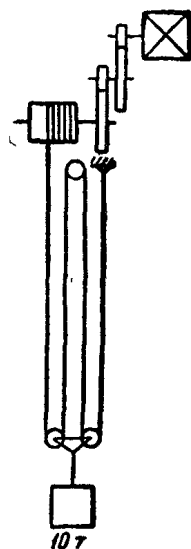


圖 I-6

鼓輪底直徑各別為 $d_{01}=0.8$ 公尺， $d_{02}=0.6$ 公尺。

對重 $G_2=0.6$ 噸。

重量 G_1 與斜面間的摩擦系數 $\mu=0.2$ 。

斜面底傾斜角 $\alpha=60^\circ$ 。

鼓輪底效率 $\eta_0=0.95$ 。

答： $M_0 \approx 280$ 公斤-公尺。

I - 11.

試求圖 I-6 內起重裝置底電動機在吊起與放落負載時以及吊起與放落空吊鉤時的轉矩，假定：

負載底重量..... $G = 10$ 噸

吊鉤和滑車底重量..... $G_0 = 800$ 公斤

起重機械底效率

在傳動額定轉矩時為..... $\eta = 0.65$

在吊起空吊鉤時為..... $\eta_0 = 0.225$

兩對齒輪底變速比合計為..... $u = 25:1$

鼓輪底直徑..... $d_6 = 0.4$ 公尺

解法 在滿載時，折合到電動機軸上的負載底轉矩等於：

$$M'_c = F_c \cdot \frac{d_6}{2} \cdot \frac{1}{u} = \frac{G + G_0}{4} \cdot \frac{d_6}{2} \cdot \frac{1}{u} = \frac{10800 \times 0.4}{4 \times 2 \times 25} = 22 \text{ 公斤-公尺.}$$

計入摩擦損耗後，電動機軸上的轉矩在滿載時為：

$$M_0 = \frac{M'_c}{\eta} = \frac{22}{0.65} = 33.2 \text{ 公斤-公尺.}$$

計入摩擦損耗後，吊起空吊鉤與滑車時的轉矩等於：

$$M_0 = \frac{G_0 \cdot \frac{d_6}{2}}{4u \cdot \eta_0} = \frac{800 \times 0.2}{4 \times 25 \times 0.225} = 7.2 \text{ 公斤-公尺.}$$

放落全載重時的轉矩可用下列公式計算：

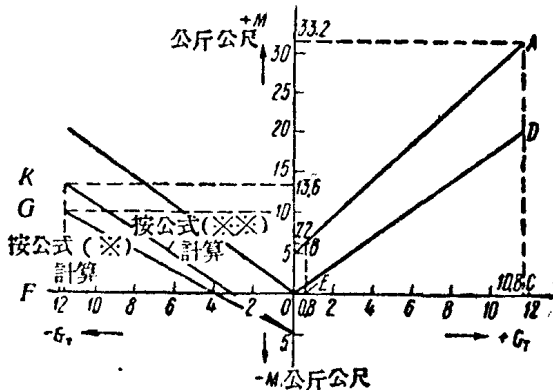


圖 I-7