

高等學校教學用書



拖 拉 机 理 論

E. Д. 列伏夫著

丁 珂 譯

彭 兆 元 校

高 等 教 育 出 版 社



本書係根據蘇聯國立機器製造書籍出版社 (Машгиз) 1952 年出版的列伏夫教授 (Е. Д. Львов) 著“拖拉機理論” (Теория трактора) 增訂第四版譯出。原書經蘇聯高等教育部審定為高等工業學校教科書。

本書中論述輪式及履帶式拖拉機行走部份的運動學及動力學、拖拉機的總體動力學及穩定性 (縱向的及橫向的)、牽引計算、迴轉理論、拖拉機的行駛平穩性及拖拉機的試驗法。

本書適用於機器製造高等工業學校學生, 以及在拖拉機製造方面工作的工程師。

本書由北京工業學院汽車專業丁珂譯, 彭兆元校。

拖 拉 機 理 論

列伏夫著

丁珂譯

高等教育出版社出版

北京琉璃廠一七〇號

(北京市書刊出版業營業許可證出字第〇五四號)

商務印書館上海廠印刷 新華書店總經售

書號 15010·79 開本 850×1168 1/32 印張 13 6/16 字數 334,000

一九五四年十月上海第一版

一九五六年十月上海第四次印刷

印數 5,001—6,500

定價 (10) 1.68

本書所用的主要符號

- B —拖拉機的機轍。
- F_K —施加於拖拉機殼上的推進力。
- F_n —施加於導向輪軸上的推進力。
- F_e —輪刺的支持面。
- G —拖拉機的重量。
- J —轉動慣量。
- L —輪式拖拉機的縱輪距；履帶支持面的長度。
- M_B —迴轉力矩。
- M_c —履帶滾動阻力的力矩。
- M_{cn} —導向輪滾動阻力的力矩。
- M_{ck} —驅動輪滾動阻力的力矩。
- M_j —履帶零件切線慣性力的力矩(換算成在驅動輪上作用的力矩)。
- M_{jn} —導向輪切線慣性力的力矩。
- M_{jk} —驅動輪切線慣性力的力矩。
- M_K —驅動力矩。
- M_{kmt} —在發動機定率工作情況下連接第 i 級排檔時的驅動力矩。
- M_∂ —發動機的旋轉力矩。
- M_m —發動機的定率旋轉力矩。
- M_f —摩擦力的力矩。
- M_{pes} —履帶式拖拉機迴轉時全部阻力的合成力矩。
- M_p —履帶式拖拉機迴轉時所產生的土壤橫向反應力的力矩。
- M_M —離合器的摩擦力矩。
- N_e —發動機的有效功率。
- N_m —發動機的定率功率。
- N_{kp} —拖拉機的實用掛鉤功率。
- $N_{kp.mi}$ —在發動機定率工作情況下連接第 i 級排檔時的拖拉機實用掛鉤功率。
- P_1 —落後履帶的切線牽引力。
- P_2 —前進履帶的切線牽引力。
- P_f —拖拉機的滾動阻力。
- P_j —整個拖拉機的慣性力。
- P_K —切線牽引力。

P_{kmi} —在發動機定率工作情況下連接第 i 級排檔時的切線牽引力。

P_{kp} —掛鉤牽引力中平行於路程表面的分力。

$P_{kp.mi}$ —在發動機定率工作情況下連接第 i 級排檔時掛鉤牽引力中平行於行程表面的分力。

Q —懸掛式農具的重量；拖車重量。

Q_n —導向輪荷重。

Q_k —驅動輪荷重。

R —迴轉半徑。

T —履帶驅動區段的張力。

T_0 —履帶上方區段的張力。

T_1 —履帶前方區段的張力。

T_2 —支持輪的滾動阻力。

X_k —行動部份上所受平行於路面的土壤反應力。

X_n —履帶前方阻力及導向輪所受土壤反應力中平行於路面的分力。

Y —土壤對履帶的法線反應力。

Y_n —土壤對導向輪的法線反應力。

Y_k —土壤對驅動輪的法線反應力。

a —拖拉機重心的坐標。

a_p —懸掛式農具在工作狀態中時的拖拉機機具組重心坐標。

a_{Tp} —懸掛式農具在運轉狀態中時的拖拉機機具組重心坐標。

b —履帶寬度、輪緣寬度、農具的工作幅面寬度。

c —表示土壤機械性質的係數；彈簧的剛性係數。

c_k —履帶支持面後緣的坐標。

c_n —履帶支持面前緣的坐標。

f —整個拖拉機的滾動係數。

g —重力加速度。

g_e —每個有效馬力小時的燃料消耗。

g_{kp} —每個實用馬力（拖拉機掛鉤上）小時的燃料消耗。

h —拖拉機重心位置的高度。

h_p —懸掛式農具在工作狀態中時機具組重心位置的高度。

h_{Tp} —懸掛式農具在運轉狀態中時機具組重心位置的高度。

h_{kp} —聯接桿的名義高度。

i —傳動減速比率。

j —拖拉機的加速度。

l —聯接點至履帶支持面中心間的距離；驅動輪嚙合的弧長。

- m —拖拉機的質量。
 m_k —驅動輪的質量。
 m_n —導向輪的質量。
 n —發動機曲軸的轉速。
 n_k —拖拉機驅動輪的轉速。
 n_m —發動機曲軸的定率轉數。
 n_x —惰轉轉數。
 r_k —驅動輪節圓的半徑。
 r_g —按輪刺頂端量度的驅動輪半徑。
 r —驅動輪滾動半徑。
 r_n —導向輪半徑。
 S —行程。
 t —時間。
 v —速度。
 x_D —壓力中心的座標。
 α —上升坡度角。
 β —離合器的儲備係數。
 ϵ —角加速度。
 η —拖拉機的總效率。
 η_f —計算滾動損失的效率。
 η_M —計算傳動損失的機械效率。
 η_x —拖拉機的牽引效率。
 η_D —計算驅動部份滑轉損失的效率。
 K —發動機的載荷係數。
 K_{II} —發動機的適應性係數。
 μ —摩擦係數，履帶式拖拉機的迴轉阻抗係數。
 X —生產率係數。
 ξ —行程平坦性的度量值。
 γ —履帶式拖拉機的迴轉參數。
 δ —驅動部份滑轉所生的損失。
 ρ —拖拉機滾動阻力所生的損失。
 φ —行動部份與土壤間的附着係數。
 ω —曲軸的角加速度。

序

社會主義農業是世界上機械化程度最高的農業。在1940年，有將近53萬台拖拉機在蘇聯的田地上工作。在偉大的衛國戰爭之後，黨和政府規定了進一步發展農業機械化的任務，以便減輕農業勞動者的工作並提高勞動生產率，以便將集體農莊及國營農場轉變成高度生產率的、全面發展的企業，以便爭取農產品的豐收。為完成這個任務起見，規定了我們工廠內拖拉機的迅速急劇增產。除拖拉機的增產外，同時必須要有進一步的工作，來創造新式的、高度生產率的、經濟的、而且使用期限較長的拖拉機。當設計拖拉機時，設計者應力求減低金屬的消耗量，以及延長個別零件、機具組及整個拖拉機的使用期限。

在偉大的共產主義建設中，蘇聯拖拉機製造者面臨了新的問題——即電動拖拉機的採用。

祇有在根據拖拉機及有關機具組的理論來考慮機器——拖拉機工場的運用條件時，蘇聯拖拉機製造者所面臨的問題才能得到順利的解決。

在“拖拉機理論”教科書第四版準備付印之前，在書中作了下列最重要的增訂和修改。

在第三及第五章中，陳述了附有懸掛式農具的輪式及履帶式拖拉機的動力學。

在第七章中，簡短地介紹了斯大林獎金獲得者技術科學博士B. H. 波爾金斯基教授的著作“拖拉機發動機在不穩定載荷下的工作”，並將有關選擇傳動減速比率這個問題的那部份作了很多補充。

在第十一章中，陳述了履帶式拖拉機複合式迴轉機構的動力分析。

在第十三章中，列示了具有半剛性行走部份的拖拉機行駛平穩性

的理論及實驗研究的結果。

在附錄中，列出了蘇聯工廠所產拖拉機發動機及拖拉機的特性。

在這本教科書中，並不列出計算的實例，因為它們最好另外用單行本來出版。

目 錄

本書所用的主要符號

序

緒論 1

第一章 拖拉機行動部份上所受驅動力矩的決定 6

第一節 拖拉機上所用的內燃機的特性 6

第二節 拖拉機上所用蒸汽動力裝置及電動機的特性 19

第三節 拖拉機行動部份上所受驅動力矩的決定 21

第二章 輪子的運動學及動力學 25

第一節 土壤的機械性質 25

第二節 具有剛性輪緣的導向輪的運動學及動力學 28

第三節 具有剛性輪緣的驅動輪的運動學及動力學 39

第四節 驅動輪的切線牽引力及滾動阻力 46

第五節 驅動輪輪刺的運動學 47

第六節 拖拉機驅動輪輪刺與土壤間的附着 52

第七節 具有充氣輪胎的導向輪和驅動輪的動力學 58

第三章 輪式拖拉機的總體動力學 63

第一節 作用於輪式拖拉機上的外力 63

第二節 輪式拖拉機的牽引平衡方程式、土壤對輪子的法線反應力 66

第三節 附有聯接式農具的輪式拖拉機的縱向穩定性 69

第四節 附有懸掛式農具的輪式拖拉機的縱向穩定性 85

第四章 履帶行動部份的運動學及動力學 91

第一節 履帶的運動學 91

第二節 履帶行動部份的動力學 100

第三節 履刺的工作及履帶行動部份與土壤間的附着 115

第五章 履帶式拖拉機的總體動力學 121

第一節 作用於履帶式拖拉機上的外力以及壓力中心坐標的決定 121

第二節 附有聯接式農具的履帶式拖拉機的縱向穩定性 125

第三節 附有懸掛式農具的履帶式拖拉機的縱向穩定性 132

第四節 履帶支持面上的荷重分佈	134
第六章 輪式及履帶式拖拉機的橫向穩定性	139
第一節 在拖拉機橫向平面上作用的外力	139
第二節 輪式及履帶式拖拉機橫向穩定性的判斷式	143
第七章 拖拉機的牽引計算	149
第一節 輪式及履帶式拖拉機的工作平衡	149
第二節 農業機器及農具的阻力	158
第三節 機具組在不穩定載荷下的工作	160
第四節 傳動減速比率的選擇	168
第五節 拖拉機的牽引計算	182
第六節 尚在設計中的拖拉機的牽引特性的畫法	190
第七節 拖拉機的動力特性	207
第八節 機具組的增速過程	215
第八章 輪式拖拉機的迴轉總論	228
第一節 輪式拖拉機的迴轉動力學	228
第二節 差速器對輪式拖拉機迴轉動力學所生的影響	236
第九章 履帶式拖拉機的迴轉總論	242
第一節 履帶式拖拉機迴轉機構的分類	242
第二節 履帶式拖拉機迴轉時土壤對履帶的橫向反應力、迴轉阻力的合成力矩	246
第三節 履帶式拖拉機迴轉時土壤對履帶的縱向反應力、迴轉力矩	252
第四節 係數的實驗決定法	260
第十章 第一類迴轉機構(具有單線功率流的)	265
第一節 單式差速器機構	265
第二節 雙式差速器機構	280
第三節 迴轉耦合器機構	292
第四節 行星式迴轉機構	299
第五節 兼有迴轉耦合器及差速器的機構	312
第六節 各種單線功率流式迴轉機構的比較以及選擇迴轉機構時的基本判斷式	319
第十一章 第二類迴轉機構(複合式)	325
第一節 履帶式拖拉機迴轉時發動機載荷係數的通用公式	325
第二節 兼有兩個差速器及迴轉耦合器的機構	327
第三節 兼有迴轉耦合器及行星傳動的機構	337

第十二章	履帶式拖拉機的操縱特性	358
第一節	迴轉力矩極限值的決定法	358
第二節	履帶式拖拉機操縱特性的畫法	361
第十三章	拖拉機的行駛平穩性	366
第一節	行駛平穩性的度量值	366
第二節	具有彈性行走部份的拖拉機的行駛平穩性	372
第三節	具有半剛性行走部份而機殼三點懸置且部份由彈簧支持的履帶式拖拉機的行駛平穩性	377
第十四章	拖拉機試驗法	381
第一節	表示拖拉機運用性能的參數	381
第二節	拖拉機試驗的分類	385
第三節	拖拉機的類型試驗	386
第四節	拖拉機重心坐標的決定	395
第五節	拖拉機及其零件的轉動慣量的決定	399
第六節	拖拉機牽引效率及傳動效率的決定	404
附錄 1.	蘇聯工廠所產拖拉機發動機在調節器作用下的特性及拖拉機的牽引特性	411
附錄 2.	輪式及履帶式拖拉機的係數表	415

緒 論

拖拉機是輪式或履帶式自動車輛的名稱，這種車輛通過它所聯接或懸掛的農業及築路的機器和工具，來完成各種農業、築路或運輸工作，而且也可以用來拖動車輛。

在拖拉機理論中分為：(1)研究拖拉機及其零件的運動規律(拖拉機及其機構的運動學)；(2)決定拖拉機在不同條件下工作時所產生的力，決定傳至拖拉機機構上的功率，決定拖拉機本身運動時、移動拖車時、以及進行各種農業及築路工作時所耗的功率(拖拉機及其機構的動力學)；(3)研究拖拉機最有利的運用條件(拖拉機經濟學)。

早在上一世紀的前半葉中，俄羅斯國內已有很多的建議，要將機械牽引法應用到土路及雪路的運輸工作上去(古爾也夫等發明家的建議)。

在1837年，Д. 沙格拉茹斯基上尉發明了履帶傳動的構造，並取得了專利權。在1878年，С. 馬也夫斯基上尉取得了製造履帶式蒸汽拖拉機的優先權。

爲了提高運輸工具在不良道路上的通過性起見，有一艘伏爾加河蒸汽船上的機械師 Ф. А. 布列諾夫，在1870年發明並造成了履帶傳動式的車輛。

在此後幾年中，Ф. А. 布列諾夫堅持地、有成就地從事履帶式蒸汽拖拉機的創造工作，他在1880年製成了這種拖拉機。布列諾夫的世界上第一輛履帶式拖拉機曾在1896年下諾伏格勒的全俄展覽會中表演過。

應該指出，第一輛美國的履帶式拖拉機是在1912年方才製成的。

因此，俄羅斯發明家在履帶式拖拉機創造中的領先是無可辯駁的。

此後，Я. Б. 馬明繼續了創造拖拉機的工作。他認為對當時的生產能力來說，拖拉機的履帶式行動部份是過於複雜了，在運用時亦不可靠，而輪式拖拉機則較為適當。不過，若採用輪式拖拉機，就需要將拖拉機重量大大減輕，以保證在耕地時足夠的機動性及通過性。Я. Б. 馬明認為，要減輕拖拉機的重量，可以用較輕、較緊湊的內燃機來代替笨重而龐大的蒸汽機和鍋爐設備。

在 1900—1910 期間，Я. Б. 馬明造成了幾種壓縮比較高的內燃機。為了減輕發動機的重量和外廓尺寸、並使其保養更為簡單化起見，馬明認為必須取消壓縮機的裝置。他取消了這種裝置而在 1911 年製成了無壓縮機的拖拉機用發動機，並製成了裝用 25 和 45 馬力此式發動機的輪式拖拉機。

不過，當時的政治及經濟條件，並未造成農業機械化所需要的物質經濟基礎。因此，Я. Б. 馬明的工作未能得到支持，而他已開始的拖拉機製造工作亦告中止。

祇有是在偉大的十月社會主義革命以後，蘇聯的拖拉機製造業才得到了正當的發展。

祇有在拖拉機及農業機器大量生產的情況下，在一定的經濟條件下，以及在有大片土地的情況下，才可能普遍地在農業中推動機械化。

“但大規模的農業有兩種，一種是資本主義農業，另一種是集體農業。共產黨決不能走上資本主義的農業發展道路，這不僅是因為有原則上的理由，而且因為這種道路是要有一個過分長久的發展過程，並且預先就要使農民破產，使他們變成僱農。因此，共產黨便走上了農業集體化的道路，走上了把各個農戶聯合為集體農莊，藉以擴大農業規模的道路”^①。

① Я. Б. 斯大林，1946 年二月九日在莫斯科斯大林選區選民預選大會上的演講，國家政治出版局，1946。此段譯文錄自莫斯科外國文書籍出版局印行（1950 年）之“斯大林在莫斯科斯大林選區選民大會上的演說”第 27 頁。

上面擷引 И. В. 斯大林的話非常清楚地說明了，為什麼唯有在蘇維埃政權在俄羅斯建立起來以後，蘇聯的拖拉機製造業才得以發展；為什麼拖拉機的大量出產是在個體農業經濟集體化及國營農場建立的時期中才組織起來。

蘇聯的拖拉機製造可以分成三個時期^①。

第一期——從 1918—1929 年——可以認為是拖拉機製造的準備階段。

在此時期中，拖拉機是比較小批地出產的。馬克斯雪塔特的“復興”工廠製造了 Я. В. 馬明所設計的拖拉機。

列寧格勒的“布爾什維克”工廠開始了十噸輪帶複合式拖拉機的出產，此後又轉而製造 Г. И. 卡爾哥布洛夫工程師所設計的履帶式拖拉機。

柯洛門斯克工廠製造了大約 500 台它自己設計的拖拉機。在這些拖拉機上，裝有採用了曲柄軸箱驅換氣法的二衝程重油機。

莫斯科汽車工廠 ИУТАЗ^② 出產了幾十台機動犁，但由於這種機器的生產率及經濟性不能符合蘇聯農業的要求，不久這種機器的生產就停止了。

“紅色進步”工廠出產了將近 500 台它自己設計的拖拉機。在這些拖拉機上裝有採用曲柄軸箱驅換氣法的二衝程重油機。

為使傳動部份簡化起見，這些拖拉機上祇裝一個驅動輪。

卡爾科夫機車製造廠出產了“公社社員”型履帶式拖拉機。

列寧格勒的“紅色普濟洛維茨”工廠組織了 ФИ 牌輪式拖拉機的成批生產。後來，該工廠轉到此式拖拉機的大量生產上去，以後又轉到中耕作物用的 Y—1 型及 Y—2 型拖拉機的生產上去。

蘇聯拖拉機製造第二期的特徵是為蘇聯農業而大量地生產拖拉

① 見“社會主義農業”雜誌上 В. И. 波爾金斯基的論文，1948 年 № 142。

② 中央國營汽車工廠管理局。

機。此時期從 1930 年開始；在那一年，以 Ф. Д. 捷爾仁斯基命名的斯大林格勒拖拉機工廠開始生產。

這一個事實的重要性可由下面 И. В. 斯大林對該廠全體人員的講話來表示：

“你們每年所應該產出給國家的五萬台拖拉機，乃是五萬個擊毀舊資產階級世界並為農村中新的社會主義結構鋪平道路的礮彈”^①。

在 1932 年，以 С. 奧爾忠尼啓則命名的哈爾科夫拖拉機工廠開始出產拖拉機。

斯大林格勒及哈爾科夫拖拉機工廠出產了 CXT3 型輪式拖拉機。

在 1933 年，出產了第一批強有力的“斯大林 60”型履帶式拖拉機。

在 1935 年，開始出產 CXT3—НАТИ 型履帶式拖拉機。

這一個事實，在蘇聯拖拉機製造第二期的歷史中，打開了新的一頁；這一時期的特徵是：創造了大量生產的履帶式拖拉機的新的蘇聯設計。

到 1940 年，蘇聯在履帶式拖拉機的生產上已佔據世界第一位。

蘇聯拖拉機製造的第三期是從偉大的衛國戰爭勝利結束後開始，這個時期的特徵是拖拉機性能的進一步提高，這種拖拉機是蘇聯設計者根據蘇聯農業中農業技術上的要求，而按着統一的系統創造出來的。

社會主義農業得到了完善的新型拖拉機——“斯大林—80”型、“ДТ—54”型、“基洛維茨 Д—35”型、“ХТЗ—7”型。由於這些拖拉機的設計工作中，由於它們的運用性能的提高以及由於生產過程的基本改善，很多蘇聯拖拉機製造者得到了最光榮的獎勵——斯大林獎金榮膺者的稱號。

隨着蘇聯拖拉機製造的發展，關於拖拉機的科學——拖拉機理論也豐富起來了。

在 1917 年出版的 А. Н. 蘇達可夫的著作“拖拉機”一書中，除了鉞

① И. В. 斯大林全集，第 12 卷第 234 頁。

述各種不同的拖拉機外，還列示了不同因素對拖拉機效率所生影響的理論原則，以及其他一些原則。

在 1918 年最高國民經濟會議的科學技術組內，組織了汽車實驗室，它在 1921 年改組成汽車發動機科學研究所。在該研究所從 1923 年起定期出版的學報中，刊載出了關於拖拉機工作的各種問題的文章。

1927 年在北高加索地方所組織的全俄拖拉機試驗，對於拖拉機理論的發展有重大的意義。這次試驗的報告在 1929 及 1930 年中由 Д. К. 卡列里斯基，Я. И. 雷特金及 М. X. 畢古列夫斯基整理出版。

在蘇聯，出版了一系列的有關拖拉機製造的理論著作及教科書，這些著作是由不同著者所寫的：斯大林獎金榮膺者 В. И. 波爾金斯基教授及 М. К. 克里斯基教授、Д. К. 卡列里斯基教授、М. И. 米特徵及夫教授、本書著者等。

國立全蘇拖拉機科學研究所的工作者完成了一系列重大的科學研究工作，他們是：斯大斯獎金榮膺者 В. Я. 斯洛尼姆斯基教授及技術科學候補博士 И. И. 特烈彼寧可夫等。

在這些著作中，闡明了拖拉機及機具組的理論、設計和計算的問題、拖拉機發動機在不穩定載荷下的工作的問題、以及其他一系列的問題。

這些著作對拖拉機製造及運用過程中已發生的問題提出了解答。

直到現在為止，拖拉機理論中有許多問題還未解決：例如，行動部份與土壤間的相互作用、拖拉機行駛平穩性的判斷式、懸置部份型式及彈力性能的選擇、拖拉機在鬆軟土壤上的通過性等等。

現時正在進行的很多科學研究工作，可能使這些問題很快地得到解決。

第一章 拖拉機行動部份上所受驅動力矩的決定

第一節 拖拉機上所用的內燃機的特性

當內燃機以不同的曲軸轉速工作時，它所發出的有效功率隨發動機在該轉速下的最大扭轉力矩而變。

由於發動機汽缸內燃料供給係數及燃燒條件的變化，故當發動機轉速變化時，它的最大扭轉力矩值並不是保持不變的。

從某一轉速開始，發動機的最大扭轉力矩因汽缸中可燃混合物充氣強度減低而減小（在壓縮發火式發動機中，最大扭轉力矩則因清潔空氣的充氣強度減低而減小）；充氣強度的減低，是因為發動機分配機構的時間截面減小的緣故，此外還有別的原因。

若沿橫坐標軸線列出發動機的轉速 n ，沿縱坐標軸線列出與轉速相應的發動機最大扭轉力矩 M_0 值，則在所畫成的曲線圖中，曲線從某一轉速開始便或快或慢地降低（圖 1）。

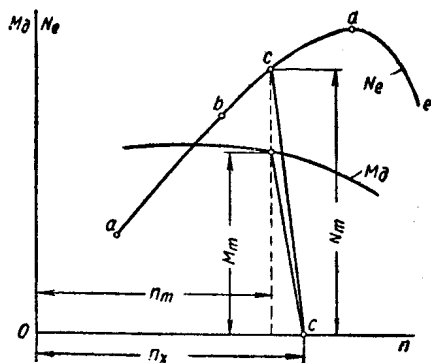


圖 1 發動機特性。

我們按下列方程式來求得相應的有效功率值。

$$N_e = \frac{M_0 \omega}{75} = \frac{M_0 n}{716.2} \text{ 馬力}, \quad (1)$$

式中 M_0 —發動機扭轉力矩，以公斤米計；

ω —曲軸的角速度，以秒⁻¹計；

n —曲軸每分鐘的轉數。

將這些數值標載在線圖上（圖 1）。

由式(1)可知：開始，當扭轉力矩 M_o 的值接近常數時，有效功率 N_e 值的增加幾乎與轉速 n 成正比例；這就是說，有效功率線圖的 ab 線段差不多與直線相同。此後，由於扭轉力矩 M_o 值的減低，有效功率的變化線圖便是曲線 $bcde$ ；在 d 點上可得到有效功率的最大值。當轉速繼續增加時，發動機有效功率便開始降低，直到零為止。

與此相似的線圖叫做發動機的外特性，當評價發動機在不同工作情況下的工作能力時，此項線圖具有極大的意義。

發動機的外特性是利用制動試驗來決定的。在此項試驗中，要量度與一定曲軸轉速相應的扭轉力矩 M_o 。發動機的有效功率便按式(1)來決定。

拖拉機上所用的發動機備有轉數調節器。這種發動機的有效功率祇在調節器開始發生作用以前是按外特性來決定的；調節器是在曲軸的某種轉速 n_m 下開始發生作用的，此轉速叫做定率轉速。

當發動機轉速增高到較定率轉速為大時，調節器就將發動機汽缸內的燃料供給減小；因此，當曲軸轉速 n_w 等於惰轉的轉速時，有效功率亦相應地減低至零(圖1)。

在發動機的特性線圖上，發動機具有調節器時的工作是由線 cc 來表示的，此線隨調節器的動力性質及其機構而變。在 cc 線右側的外特性區域是非工作區域。

當發動機與調節器一同工作時，它的有效功率變化

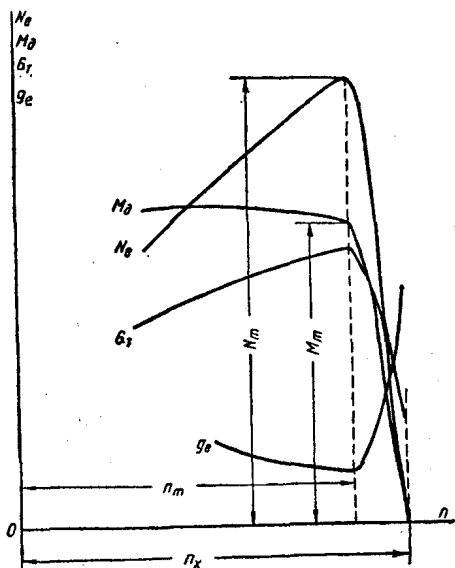


圖 2. 調節器作用下的發動機特性。