

337945

345

高等学校教学参考书

拖拉机理论

陈秉聪 顾品铸 编



中国工业出版社

22
21

高等~~学校~~教学参考书

拖拉机理论

陈秉聪 顾品铨 编

中国工业出版社

本书是中华人民共和国第八机械工业部教育司組織編写的，
供高等学校拖拉机专业用的教学参考书。

本书由陈秉聪、顾品铨两同志編写，并經吳起亚、翁家昌两
同志审閱。

拖 拉 机 理 論

陈秉聪 顾品铨 編

第八机械工业部图书杂志編輯部教材編輯室編輯(北京北河沿54号)

中国工业出版社出版(北京修繕厂路10号)

北京市书刊出版业营业许可证出字第110号

中国工业出版社第一印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ ·印张 $7\frac{1}{8}$ ·字数186,000

1965年7月北京第一版·1965年7月北京第一次印刷

印数0001—2,090·定价(科六)1.00元

統一书号: K15165·3978(八机-83)

目 录

緒 論	1
第一章 拖拉机发动机的性能和拖拉机的驅动力矩	6
第一节 柴油发动机的調速特性曲线	6
第二节 发动机的运用載荷	9
第三节 全速式調速器对机組生产率和发动机燃料經濟性的 影响	12
第四节 发动机和拖拉机机組的动能儲备	14
第五节 拖拉机的传动系統效率和驅动力矩	16
第二章 輪式拖拉机的行走系統效率和附着性能	17
第一节 輪式拖拉机的行駛原理	17
第二节 土壤的物理机械性质	18
第三节 車輪的运动学和动力学	23
第四节 滚动阻力及其影响因素	29
第五节 驅動輪的滑轉和附着性能	33
第六节 輪式拖拉机的动力学	41
第七节 車輪滚动半径、驅動輪动力半径、滑轉率、滚动 阻力系数、行走系統效率和附着系数的实验測定	45
第八节 四輪驅動拖拉机的牽引动力学	49
第三章 履帶式拖拉机的行走系統效率和附着性能	54
第一节 履帶式拖拉机的行駛原理	54
第二节 履帶行走机构的运动学	56
第三节 履帶行走机构的动力学	59
第四节 滚动阻力及其影响因素	64
第五节 履帶式拖拉机的附着性能	69
第六节 履帶式拖拉机的动力学	71
第四章 拖拉机的牽引性能	75
第一节 拖拉机的功率平衡和牽引效率	75

IV

第二节	拖拉机基本参数的确定原则	77
第三节	拖拉机的牵引计算	87
第四节	拖拉机的牵引特性曲线	92
第五节	拖拉机机组的起步过程	98
第五章	拖拉机的总体动力学和稳定性	108
第一节	作用在带有牵引式农具的轮式拖拉机纵向平面内的 外力	108
第二节	带有牵引式农具的轮式拖拉机的纵向稳定性	112
第三节	受附着力限制时的轮式拖拉机的纵向稳定性	119
第四节	作用在带有悬挂式农具的轮式拖拉机纵向平面内的 外力	123
第五节	带有悬挂式农具的轮式拖拉机的纵向稳定性	128
第六节	作用在带有牵引式农具的履带式拖拉机纵向平面内 的外力	132
第七节	带有牵引式农具的履带式拖拉机的纵向稳定性	135
第八节	在履带支承面上的垂直载荷的分布	139
第九节	带有悬挂式农具的履带式拖拉机纵向平面内所受的 外力及其纵向稳定性	143
第十节	拖拉机的横向稳定性	146
第十一节	拖拉机重心座标的实验测定	150
第六章	轮式拖拉机的转向理论	155
第一节	轮式拖拉机的转向运动学	155
第二节	轮式拖拉机的转向动力学	157
第三节	单差速器对轮式拖拉机性能的影响	162
第七章	履带式拖拉机的转向理论	167
第一节	履带式拖拉机的转向运动学	167
第二节	履带式拖拉机的转向动力学	168
第三节	履带式拖拉机的转向阻力矩	171
第四节	转向阻力系数 μ 的影响因素及其试验测定	174
第五节	履带式拖拉机转向时的发动机载荷	177
第六节	具有双差速器的履带式拖拉机的转向性能	180
第七节	具有转向离合器和单级行星机构的履带式拖拉机的 转向性能	189

第八节 对履带式拖拉机转向机构的简单评价	196
第九节 履带式拖拉机的理论操纵特性曲线	198
第八章 拖拉机的行驶平顺性	206
附 录	210
主要符号表	213
主要参考书目	221

緒 論

拖拉機理論這門課程的主要目的是：研究拖拉機及其機構的運動學和動力學，研究拖拉機的使用性能和最有利的工作條件，為拖拉機的設計、評價、試驗、研究和運用提供理論基礎。

這本教材主要是為拖拉機設計專業學生編寫的。其內容包括：拖拉機發動機的性能和拖拉機的驅動力矩，拖拉機的行走系統效率和附着性能，拖拉機的牽引性能，拖拉機的總體動力學和穩定性，拖拉機的轉向理論和拖拉機的行駛平順性等共八章。

在今天，拖拉機理論還是一門年輕的學科，無論在理論上或是在試驗方面所做的工作都還很不夠。例如，有關水田拖拉機的理論問題，壟作農業作業機械化的理論問題，懸掛機組的理論問題，拖拉機行走部分與土壤間的相互作用問題，以及拖拉機的行駛平順性等問題都需要作進一步的研究。因此，在學習本課程時，不應該把教材中所闡述的問題看成是絕對不變的，而應該掌握它的一些基本理論，學會研究和分析問題的方法，理解一些公式和參數的物理意義和它對拖拉機性能的影響，並尽可能聯繫實際地對具體問題作具體分析，從而掌握這門學科並使它得到不斷的發展和完善。

拖拉機的設計、製造、試驗和理論研究等工作的最終目的在於拖拉機的使用。因此，只有通過較長時期的拖拉機實際使用過程，才能對上述工作作出比較正確的估計，也才能對一台拖拉機作出全面而公正的評價。

拖拉機在使用過程中所表現出來的各種性能，稱為拖拉機的使用性能，它是設計和評價拖拉機的基礎。

農業拖拉機的使用性能可以分為三類：

1. 農業技術性能（主要有通過性、機動性、直線行駛性和行

駛平順性等)；

2. 技術經濟性能 (主要有生產率和燃料經濟性等)；

3. 一般技術性能 (主要有工作安全性、保養和工作的方便性等)。

現分別加以簡要說明如下：

1. 農業技術性能：

農業技術性能主要指的是適應農業技術要求 (或稱農藝要求) 的拖拉機的那些性能，它直接影響着農作物的產量。它包括有：

(1) 通過性：

對一般用途的拖拉機來說，是根據它能否在鬆軟潮濕的土壤上和在不平的路面上通過來判斷的。這種通過性稱為平地通過性。它取決於拖拉機行走部分的結構形式、行走部分對土壤的單位壓力和拖拉機的道路離地間隙 h_0 等 (參閱圖0-1)。

對中耕用拖拉機來說，是根據它能否在中耕作物的行間多次通過，而對作物傷害為最少來判斷的。這種通過性稱為行間通過性。它主要取決於中耕拖拉機的農藝離地間隙 h_a 、拖拉機的輪廓尺寸、保護區和輪距 (或軌距) B (圖0-1)。

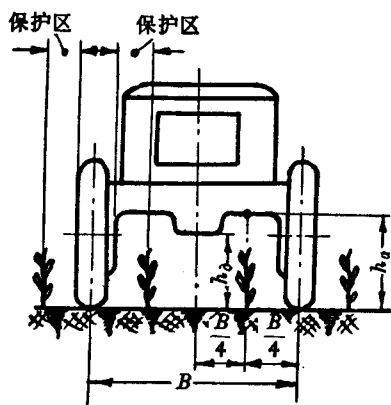


圖 0-1 拖拉機的道路離地間隙和農藝離地間隙

對山地拖拉機和在斜坡上工作的拖拉機來說，是根據它是否能在山地和斜坡上工作而不翻傾和不側滑來判斷的。這種通過性稱為山地通過性。它主要取決於拖拉機的重心位置和土壤與行走機構間的附着情況。

拖拉機的通過性，关系到拖拉機能否不誤農時地進行作業，這將直接影

响到农作物的产量,因此,它是农业技术性能的重要指标之一。

(2) 机动性:

拖拉机在小块面积的土地上能否转向的性能,称为拖拉机的机动性。通常用拖拉机的最小转向半径(所谓拖拉机的转向半径,是指它的纵向对称平面到它的转向轴线之间的距离)来作为衡量拖拉机机动性的指标。机动性差的拖拉机,在田间地头转弯时所损害的农作物的面积就大,这将直接影响农作物的产量。因此,它也是农业技术性能的重要指标之一。

(3) 直线行驶性:

拖拉机保持驾驶员所给定的直线方向而行驶的性能,称为直线行驶性。拖拉机的直线行驶性直接影响农业作业的质量。直线行驶性差,在耕地时就会出现重耕和漏耕现象;在中耕时就会损伤作物;在播种时就会影响以后的中耕质量。

此外,如果拖拉机的直线行驶性差,驾驶员就要经常地纠正它的行驶方向,这不但增加了拖拉机的行驶路程,从而影响拖拉机的生产率;而且也增加了驾驶员的劳动量和拖拉机转向机构的磨损。

(4) 行驶平顺性:

拖拉机能平顺地进行工作的性能称为拖拉机的行驶平顺性。它主要与拖拉机行走部分的结构形式、拖拉机的悬架形式和拖拉机总体结构参数有关。

拖拉机的行驶平顺性不但对农业作业质量(例如耕地时耕深的变化),而且对拖拉机及其零部件的寿命、拖拉机的生产率和驾驶员的劳动强度等都有直接影响。

2. 技术经济性能:

拖拉机的技术经济性能主要包括拖拉机的生产率和燃料经济性两个方面。

(1) 生产率:

在使用单位,通常用单位时间或单位工作日内的耕地面积(亩/小时或亩/工作日)来表示拖拉机的生产率。这个指标除了

跟拖拉机本身的性能有关以外，在很大程度上还取决于土壤的物理机械性质和与拖拉机相配套的农机具的完善程度。确切些說，这个指标只可以表示机組的生产率。因此，在拖拉机理論中，是用拖拉机的挂鈎功率（或称牵引功率）来表示拖拉机的生产率。

拖拉机的挂鈎功率，是在拖拉机的挂鈎上所产生的功率。它除了取决于发动机的相应有效功率以外，还与拖拉机的牵引效率有关。拖拉机的牵引效率除了与传动系統和行走系統的结构形式等有关以外，还与土壤的物理机械性质有关。因此，拖拉机的挂鈎功率不仅取决于拖拉机本身的性能，而且还取决于土壤条件。这一点說明，当对各种拖拉机进行比較性評价的时候，必須要在同一土壤条件下进行。

（2）燃料經濟性：

拖拉机的燃料經濟性可以用拖拉机的燃料比耗来表示，即用每挂鈎馬力小时所消耗燃料的克数来表示。

拖拉机的燃料比耗除了取决于发动机的燃料比耗外，还取决于拖拉机的牵引效率。因此，为提高拖拉机的燃料經濟性，除了應該改善拖拉机和发动机的性能以外，还应该合理地使用拖拉机，以降低发动机的燃料比耗和提高拖拉机的牵引效率。

3. 一般技术性能：

凡是不属于农业技术性能和技术經濟性能的那些使用性能，都可以包括在一般技术性能中。比較重要的有拖拉机的工作安全性（如拖拉机的稳定性，制动器工作的可靠性，农具挂接的安全性等）以及拖拉机保养和工作的方便性（主要是指減輕駕駛員劳动强度和改善他的劳动条件的一些措施）。

以上简单地介紹了农业拖拉机的使用性能。有很多使用性能是不以数值来表示的。此外應該指出，上述分类并不是絕对的，因为在拖拉机各个使用性能之間往往有一定的联系，而不能截然分开。例如，拖拉机的直线行駛性影响耕作和以后中耕的质量，它直接影响农作物的产量，因之把它划归农业技术性能；但是它同时又影响拖拉机的生产率和燃料經濟性，所以它又可以划归技

术經濟性能；此外，拖拉机的直线行駛性又影响駕駛員的劳动强度，故它也可作为一般技术性能中的一个指标。

上述这些拖拉机的使用性能都是从实践过程中归納总结出来的，但是它反过来又可以指导設計。所以在設計拖拉机时，必須注意拖拉机的使用性能的要求和特点。

第一章 拖拉机发动机的性能 和拖拉机的驱动力矩

拖拉机的生产率和燃料经济性在很大程度上取决于拖拉机发动机的动力性能和燃料经济性。目前在世界各国所生产的拖拉机上，都广泛地采用了以柴油为燃料的压燃式发动机（即柴油机）作为动力。因此，在这一章里，就只限于讨论拖拉机上所用的柴油发动机的动力性能和燃料经济性。

第一节 柴油发动机的调速特性曲线

柴油发动机的调速特性曲线，是指装有调速器的柴油发动机的有效力矩 M_e 、有效功率 N_e 、小时耗油量 G_e 和燃料比耗 g_e 随发动机的转速 n 而变化的关系曲线。

根据试验数据所画出的柴油发动机调速特性曲线的一般形状如图 I-1 所示。试验时，测量不同转速下的发动机有效力矩 M_e 和小时耗油量 G_e ，而发动机的有效功率 N_e 和燃料比耗 g_e 则可分别从下述公式中求得：

$$N_e = \frac{M_e n}{716.2} \text{ 馬力}, \quad (\text{I-1})$$

$$g_e = 10^3 \frac{G_e}{N_e} \text{ 克/馬力小时}. \quad (\text{I-2})$$

上列式中各符号的单位分别是： M_e ——公斤米， n ——轉/分， G_e ——公斤/小时。

在图 I-1 中，与转速 $n_H \sim n_X$ 相对应的区段称为调速器作用区段。在这一转速范围内，调速器随着外载荷的变化，相应地自动改变燃油泵的齿条位置，从而改变发动机的每循环喷油量。当沒

有外载荷时, 发动机就在空轉轉速 n_x 下工作, 此时調速器就自动地将发动机的每循环噴油量調节到最小。当外载荷增加时, 发动机轉速就开始降低, 这时, 在調速器的作用下, 发动机的每循环噴油量就开始增加, 使发动机发出的有效力矩亦相应增加。当外载荷减小时, 发动机轉速就开始增加, 这时, 在調速器的作用下, 发动机的每循环噴油量就开始减少, 使发动机发出的有效力矩亦相应降低。这样, 当发动机轉速在 $n_x \sim n_H$ 这一不大的范围内变化时, 調速器就使其发出的有效力矩相应地

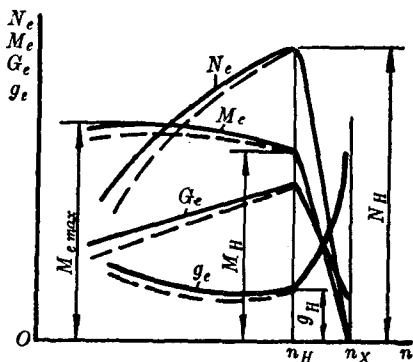


图 I-1 以发动机轉速为横座标的柴油发动机的調速特性曲线

从零到 M_H 的較大范围内改变。具有这种特性的发动机, 能較好地适合农业拖拉机工作条件的需要。

由于田間路面高低不平、拖拉机行走部分工作不均匀以及其他一些原因, 拖拉机工作时的外阻力是不断变化的。拖拉机发动机的有效力矩要适应外阻力的变化而变化。因此拖拉机发动机也是在不断变化着的载荷条件下工作的。如果发动机是在調速器作用区段工作, 那末, 即使发动机的有效力矩为了适应外阻力的变化而有較大的变化, 发动机轉速的相应变化却可不大, 从而保证了拖拉机在工作时能够保持近似不变的速度。这一点正是大多数的农业生产过程所要求的。因此, 調速器作用区段是拖拉机发动机的一般正常工作区段。

調速器开始起作用时的发动机轉速 n_H 叫做額定轉速, 与其相对应的发动机有效力矩 M_H 、有效功率 N_H 和燃料比耗 g_H , 分别叫做发动机的額定力矩、額定功率和額定燃料比耗。

如果由于拖拉机外阻力的增加而使发动机轉速降低到比額定

轉速 n_H 還要低時，調速器已不能使發動機的每循環噴油量再增加，發動機的有效力矩即沿圖 I-1 上的虛線的 $M_e = f(n)$ 曲線變化。為了提高發動機在低於額定轉速時的克服外載荷增加的能力，在調速器中一般都裝有一校正彈簧——即校正器。當發動機的轉速因外載荷的增加而降低到比額定轉速還低時，校正器就開始起作用。它使發動機的每循環噴油量再相應地增多。這時發動機的有效力矩、有效功率、小時耗油量和燃料比耗等曲線，即沿圖 I-1 上所示的實線變化。

在圖 I-1 中，發動機轉速小於額定轉速 n_H 的區段，稱為校正器作用區段，或者稱為發動機的超載區段。

發動機所能發出的最大有效力矩 $M_{e, max}$ 稱為發動機的最大力矩。它與額定力矩 M_H 之比，叫做發動機的適應性系數，並以符號 κ_H 來表示：

$$\kappa_H = \frac{M_{e, max}}{M_H}. \quad (I-3)$$

發動機的適應性系數 κ_H 是代表發動機可能克服拖拉機外阻力短時間增大的能力。對具有校正器的柴油發動機來說，它的數值範圍一般在 1.05~1.18 之間。

如圖 I-1 所示的以發動機轉速為橫座標的調速特性曲線，用於討論發動機動力性能和燃料經濟性隨發動機轉速而變化的關係是比較方便的。特別是用於討論校正器作用區段的發動機動力性能和燃料經濟性時就更為方便。

為了便於討論調速器作用區段的發動機動力性能和燃料經濟性，發動機調速特性曲線也可以用發動機的有效力矩或有效功率作橫座標來表示。

圖 I-2 是以發動機有效力矩 M_e 為橫座標的調速特性曲線。這種調速特性曲線用於討論調速器作用區段的發動機的動力性能和燃料經濟性隨有效力矩而變化的關係較為方便。此外，這種調速特性曲線用於討論發動機的動力性能和燃料經濟性與拖拉機的牽引性能和燃料經濟性之間的關係也較為方便。

有关拖拉机牵引性能问题将在本书第四章中讨论。

必须提醒, 在如图 I-2 所示的调速特性曲线中, 与有效力矩从零到额定力矩 M_H 相当的区段是调速器作用区段, 与有效力矩从额定力矩 M_H 到最大力矩 $M_{e\max}$ 相当的区段是校正器作用区段。

图 I-3 是以发动机有效功率 N_e 为横坐标的调速特性曲线。这种调速特性曲线用于讨论调速器作用区段的发动机动力性能和燃料经济性随发动机有效功率而变化的关系较为方便, 特别是用于讨论调速器作用区段的发动机的燃料经济性较为方便。

在如图 I-3 所示的调速特性曲线中, 读者可不难自行找出调速器作用区段和校正器作用区段。

第二节 发动机的运用载荷

拖拉机工作时, 发动机的受载情况对拖拉机的生产率和燃料经济性有重要影响。

发动机的受载程度通常用发动机的载荷系数 κ 来代表:

$$\kappa = \frac{M_e}{M_H}, \quad (I-4)$$

式中的 M_e 是发动机在某一时刻的有效力矩。

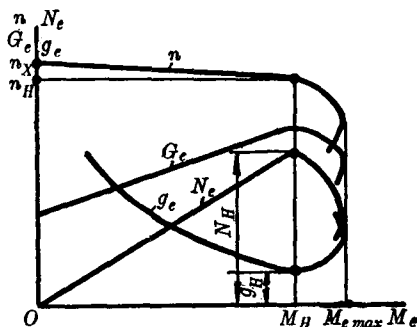


图 I-2 以发动机有效力矩为横坐标的柴油发动机的调速特性曲线

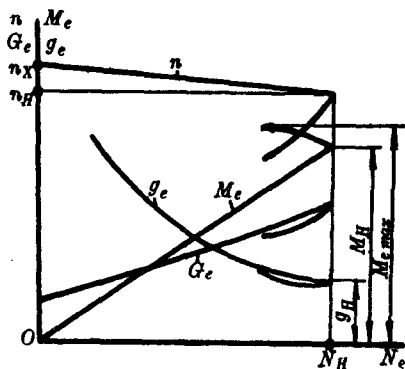


图 I-3 以发动机有效功率为横坐标的柴油发动机的调速特性曲线

从发动机的调速特性曲线上可以看到，如果发动机的载荷过小，则不但发动机的功率得不到充分利用，且发动机的燃料经济性也不好。这就直接降低了拖拉机的生产率和燃料经济性。

图 I-4 给出了发动机的燃料比耗 g_e 随发动机载荷系数 κ 而变化的关系曲线。

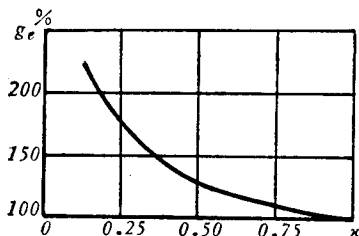


图 I-4 发动机燃料比耗与发动机载荷系数的关系曲线

从该曲线上和从发动机的调速特性曲线上可知，如果发动机载荷系数 $\kappa = 1$ ，亦即发动机的载荷等于发动机额定力矩，则发动机的功率为额定功率，且其燃料比耗为额定燃料比耗。从表面看来，

假如以发动机额定力矩计算去编配拖拉机所带的农具，似乎会使拖拉机具有较高的生产率和燃料经济性。然而，实际上一般并不如此。

拖拉机机组工作时的阻力是不断变化的。机组在工作时，如果使作用在拖拉机发动机上的平均载荷就等于发动机额定力矩，则当机组阻力增加时，便会使发动机转速降到比额定转速为低。这不但会降低拖拉机的平均行驶速度，从而降低拖拉机的生产率，有时甚至有可能使发动机因不能克服突然增大的外载荷而熄火。

机组在工作时可能会遇到个别偶然的障碍，或因其他原因而使其阻力有短时间的突然增大。假定在某一时刻，拖拉机本身滚动阻力的短时间突然增大以及农具和功率输出轴等阻力的短时间突然增大正巧重合，此时作用在发动机上的平均阻力矩可达极限值 M_{elim} （见图 I-5）。在上述情况下机组阻力的短时间突然增大可以用一个发动机载荷突增系数 Δ_{lim} 来代表：

$$\Delta_{lim} = \frac{M_{elim}}{M_e};$$

式中的 M_e 表示超载前发动机长时间发出的力矩。

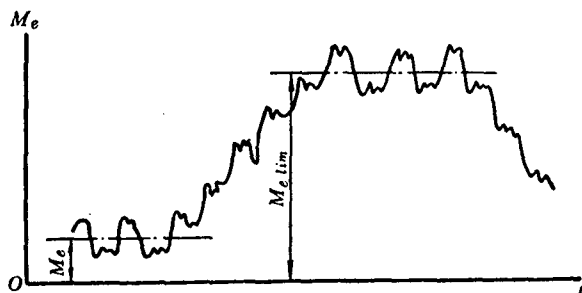


图 I-5 机組阻力的短时间突然增大

在这种最不利的情况下，如果不考虑机組阻力还有周期性波动，发动机不灭火的条件是：

$$M_{e\lim} \leq M_{e\max}. \quad (\text{I-5})$$

实际上，由于田间路面的高低不平以及拖拉机行走部分工作不均匀等原因，机組运动时的阻力还会有周期性的波动。从理論上說来，上述发动机不灭火的条件似乎还不够。因为机組阻力的周期性波动会使作用在发动机上的阻力矩在某一瞬間大于平均极限值 $M_{e\lim}$ 。但是，应该考虑到另一个实际情况。机組阻力短时间突然增大时，发动机的工作过程是减速的。当发动机减速运转时，由于发动机气缸充气情况较好等原因，发动机实际发出的力矩要比在发动机等速运转时发出的力矩大些。图 I-6 上的虚线表示了在发动机减速运转时的力矩变化曲线。条件式 (I-5) 中的发动机最大力矩 $M_{e\max}$ 是指在发动机等速运转时的最大力矩。所以，即使考虑到机組阻力还有周期性波动，发动机不灭火

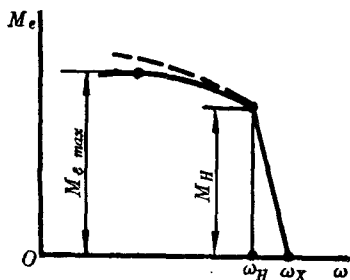


图 I-6 柴油发动机调速特性中的力矩曲线