

内部試用讲义

拖拉机理论

北京农业机械化学院
拖拉机教研室編

1965.1

主 要 符 号 表

- B ——拖拉机的輪距或軌距（即兩側輪子或鏈軌的縱向对称平面間的距离）。
- F_k ——驅動輪传给机架的推进力或机架对驅動輪的反作用力。
- F_n ——机架传给前导向輪（从动輪）輪軸的推进力。
- F_B ——輪胎花纹或鏈刺与土壤嚙合部分的止推面积。
- G ——拖拉机的使用重量。
- G_k ——拖拉机的結構重量。
- G_H ——悬挂农具的重量。
- L ——輪式拖拉机的軸距；鏈軌支承面长度。
- M_B ——轉向力矩。
- M_{fk} ——驅動輪的滚动阻力矩。
- M_{fn} ——从动輪的滚动阻力矩。
- M_k ——驅动力矩。
- M_{jcyM} ——鏈軌行走器旋轉零件的总慣性力矩（換算到驅動鏈輪軸上）。
- M_{jk} ——驅動輪的慣性力矩。
- M_{jn} ——从动輪的慣性力矩。
- M_e ——发动机扭矩。
- M_H ——发动机額定扭矩。
- M_M ——离合器的最大摩擦力矩。
- M_r ——摩擦力矩。
- M_p ——輪式拖拉机后桥部分的轉向阻力矩；鏈軌式拖拉机空載时的轉向阻力矩。
- M_{pes} ——拖拉机轉向的合成阻力矩。
- M_{pm} ——輪式拖拉机前桥部分的轉向阻力矩。
- N_e ——发动机有效功率。
- N_H ——发动机額定功率。
- N_{kp} ——拖拉机牽引功率（或称掛鈎功率）。
- P_k ——一切綫牽引力。
- $P_{k\phi}$ ——附着力的最大允許值（簡称附着力）。
- P_f ——拖拉机的滚动阻力。
- P_B ——輪式拖拉机的轉向力。
- R ——理論轉向半径。
- R_x ——土壤对农具的工作阻力的水平分力。
- R_y ——土壤对农具的工作阻力的垂直分力。
- T ——驅动力矩 M_k 在鏈軌驅動段引起的张力。
- T_0 ——鏈軌的預加张力。
- V_T ——拖拉机的理論速度。
- V ——拖拉机的实际速度。
- V' ——拖拉机轉向时的平均速度。
- X_k ——地面对驅動輪的水平反作用力。

X_n ——地面对从动輪的水平反作用力。
 Y ——地面对鏈軌行走器的垂直反作用力。
 Y_k ——地面对驅動輪的垂直反作用力。
 Y_n ——地面对从动輪的垂直反作用力。
 Y_u ——地面对懸掛農具支承輪的垂直反作用力。
 a ——拖拉機重心的水平坐标（即重心至通過驅動輪軸綫的垂直平面間的距离）。
 a_n ——懸掛農具重心的水平坐标（即重心至通過拖拉機驅動輪軸綫的垂直平面間的距离）。
 h ——拖拉機重心的离地高度。
 h_n ——懸掛農具重心的离地高度。
 b ——輪子或鏈軌的宽度。
 c ——土壤刚性系数。
 f ——拖拉機的滚动阻力系数。
 i ——传动系的总传动比。
 i_d ——双差速器的传动比。
 g_e ——发动机的燃料消耗率，克/有效馬力·小时。
 g_{kp} ——拖拉機的燃料消耗率，克/牵引馬力·小时。
 n ——发动机曲軸轉速。
 n_n ——发动机曲軸額定轉速。
 n_x ——拖拉機空駛一定路程时，驅動輪的轉数。
 n_k ——拖拉機帶負荷行駛同一路程时，驅動輪的轉数。
 r ——輪子的滚动半径。
 r_k ——驅動輪的动力半径。
 r_n ——从动輪的动力半径。
 x_d ——鏈軌行走器压力中心坐标。
 α ——縱向坡度角。
 β ——橫向坡度角；离合器儲备系数。
 η_m ——传动系机械效率（简称传动效率）。
 η_r ——鏈軌驅動段机械效率。
 η_f ——拖拉機的滚动效率。
 η_δ ——滑轉效率。
 η_τ ——拖拉機的牵引效率。
 κ ——发动机載荷系数。
 κ_o ——发动机最大运用載荷系数。
 κ_M ——发动机的扭矩适应性系数。
 κ_n ——发动机的轉速适应性系数。
 μ ——摩擦系数；鏈軌拖拉機轉向阻力系数。
 δ ——滑轉率。
 ρ ——滚动損失系数。
 φ ——附着系数。
 φ_{kp} ——附着重量利用系数。
 Δl_{im} ——发动机載荷可能增长系数的极限值。
 l ——驅動輪載荷变化系数或鏈軌行走器載荷变化系数。
 ω ——发动机曲軸的角速度。
 ω_k ——驅動輪的角速度。

目 录

前 言

第一章 概 论

§ 1. 农业拖拉机的运用性能	2
§ 2. 拖拉机行駛的基本原理	5
§ 3. 拖拉机发动机的特性	7
§ 4. 行走器上驅动力矩的确定	9
§ 5. 土壤的力学性質	10

第二章 轮式拖拉机的基本动力学

§ 1. 輪子的分类	12
§ 2. 輪子的运动学	12
§ 3. 从动輪的动力学	15
§ 4. 驅動輪的动力学	21
§ 5. 輪胎的滚动損失	23
§ 6. 驅動輪与土壤間的附着	28
§ 7. 輪式拖拉机的整体动力学	34

第三章 鍊軌式拖拉机的基本动力学

§ 1. 鍊軌行走器的运动学	43
§ 2. 鍊軌行走器的动力学	44
§ 3. 鍊軌行走器与土壤間的附着	51
§ 4. 鍊軌式拖拉机的整体动力学	53
§ 5. 鍊軌支承面上垂直載荷的分布	55

第四章 拖拉机的牵引性能

§ 1. 拖拉机的功率平衡和牵引效率	59
§ 2. 拖拉机工作档传动比选择的理論基础	64
§ 3. 拖拉机机組阻力的不稳定特性	68
§ 4. 拖拉机的牵引計算	70
§ 5. 拖拉机的理論牵引特性	75
§ 6. 拖拉机机組的起步过程	81

第五章 拖拉机的牵引試驗

§ 1. 拖拉机牵引試驗的目的和任务	89
§ 2. 拖拉机牵引試驗的設備和仪器	89
§ 3. 拖拉机牵引試驗的方法	97

第六章 拖拉机的稳定性

- § 1. 輪式拖拉机的縱向稳定性.....103
- § 2. 鍊軌式拖拉机的縱向稳定性.....112
- § 3. 拖拉机的橫向稳定性.....114
- § 4. 拖拉机重心位置的測定方法.....117

第七章 拖拉机的转向理论

- § 1. 輪式拖拉机的轉向理論.....121
- § 2. 鍊軌式拖拉机的轉向运动学和动力学.....125
- § 3. 鍊軌式拖拉机的轉向机构及其主要性能.....129
- § 4. 鍊軌式拖拉机的轉向特性曲綫.....139

前 言

拖拉机理论是一门研究拖拉机的运用性能的学科。它的任务是为合理运用拖拉机及改善拖拉机的性能建立理论基础。

拖拉机主要是用作农业机械化的基本动力。其运用条件是多种多样的，是非常复杂的。拖拉机不仅要同各种不同的农业机械配套来进行各项农事作业，而且要在各种不同的地区（地形、土壤、气候、作物等条件均不相同）进行工作。从各种不同的运用条件出发，必然向拖拉机提出多种多样的要求。为了满足这些要求，一方面要根据不同的要求划分等级和型式实行拖拉机的系列化，另一方面亦要求各种拖拉机本身具备一系列的运用性能。

农业拖拉机的运用性能可以划分为三类：

一、农业技术性能——是指拖拉机对农业生产中农业技术要求的适应性能。其具体内容决定于具体的农业技术条件。

二、技术经济性能——主要是指有关拖拉机的生产率和经济性方面的性能。

三、一般技术性能——凡不属于以上两类的各种性能都归入这一类。

随着农业机械化程度和水平的不断提高，拖拉机的应用范围不断扩大，对拖拉机性能的要求亦将不断充实和发展，加以拖拉机设计制造水平的不断提高，都必将使拖拉机的运用性能不断充实和提高。

目前，拖拉机理论已达到的成就还不能对全部运用性能都给予理论上的说明。在拖拉机理论中，现在主要研究三方面的问题：

一、拖拉机整体及其部件（主要是行走部分）的运动规律。

二、拖拉机整体及其部件（主要是行走部分）的动力学。

三、拖拉机最有利的工作条件。

必须指出：拖拉机理论还是一门年轻的学科。无论在理论上和试验上所做的工作都很不够，许多问题的阐述还只能限于说明质的联系，对于量的计算还不能作出精确的分析。即使在质的方面，也还有不少问题尚未得到很好的解决。这一切，有待于今后努力开展学术研究，总结生产经验，不断积累资料，进行理论概括。逐步地、迅速地加以提高。

作为一门课程，其主要内容包括轮式和链轨式拖拉机的基本动力学、拖拉机的牵引性能、拖拉机的稳定性及拖拉机的转向理论。

第一章 概 論

§ 1 农业拖拉机的运用性能

拖拉机在运用过程中所表现出来的性能称为运用性能。

农业拖拉机的运用性能分为农业技术性能、技术经济性能和一般技术性能三类。

一、农业技术性能

拖拉机的农业技术性能（又称农艺性能）是指拖拉机对于农业生产中农业技术要求的适应性能。

目前认为，拖拉机的农业技术性能包括通过性、机动性和行驶平顺性。

（一）通过性 通过性是指拖拉机在各种运用条件下的通过能力。按照拖拉机的运用条件的不同，通过性主要分为地面通过性，中耕作物行间耕作时的通过性及坡地工作时的通过性三种。

1. 地面通过性 主要决定于下列指标：

（1）行走器接地压力——单位接地压力越大，拖拉机在土壤中下陷越深。严重时会使拖拉机无法行驶。为了通过松软泥泞地区，轮胎式拖拉机驱动轮胎接地压力应为 $0.85 \sim 1$ 公斤/厘米²，铧式拖拉机应为 $0.35 \sim 0.5$ 公斤/厘米²。

（2）道路路隙——拖拉机最低点离地间隙。它表明拖拉机越过障碍的能力、在松软潮湿土壤上的工作能力以及行走器掉入沟中自行爬出来的能力。

（3）行走器的型式和尺寸。

2. 中耕作物行间作业时的通过性 主要决定于下列指标：

（1）农艺路隙——指跨越作物行中心处的离地间隙。

（2）护苗带宽度——指由作物行中心线到拖拉机最近部分的水平距离。用以评价拖拉机的水平通过能力。

（3）横向轮廓——指中耕拖拉机在横向垂直面上的投影轮廓。它决定了拖拉机的垂直通过能力。

3. 坡地工作的通过性 主要决定于下列问题：

（1）横坡工作时的稳定性问题。

（2）横坡工作时的自动走偏问题。

（3）纵坡行驶时的稳定性问题和牵引性能问题。

（二）机动性 拖拉机的机动性主要包括行驶直线性和操纵性两方面。

1. 行驶直线性 行驶直线性是指拖拉机保持给定直线方向行驶的能力。它对于作业质量和生产率都有重大影响。行驶直线性主要决定于行走器和转向机构的型式、机组的编配方法以及视野性。

2. 操纵性 操纵性是指拖拉机正确地按照转向机构所给定的方向行驶的性能。通常用最小转向半径来评价。操纵性主要决定于拖拉机的结构参数、转向机构的型式及负荷条件。

（三）行驶平顺性 行驶平顺性是指拖拉机在一定地面条件下行驶时的振动性质对于拖拉机

手、机件和作业质量的影响程度方面的性能。若行駛平順性不良，則会造成耕深不均匀性增加，拖拉机手容易疲劳及机件易于损坏等缺点。行駛平順性主要决定于行走器的型式，悬架結構以及各总成的重量和轉动慣量。

二、技术经济性能

拖拉机的技术经济性能主要是指生产率和經濟性。

(一) 生产率 拖拉机的实际生产率应当按机組的生产率来决定。例如，耕地机組的生产率通常以单位時間內的耕地面积来表示(亩/小时)。但是，机組的生产率不仅与拖拉机的性能有关，而且还与农具的性能以及机組的編配情况有关，甚至也与拖拉机手的熟練程度有关。因而用机組生产率作为评价拖拉机性能的指标是很不方便的。在拖拉机理論中，通常以各挡的牽引功率来表示生产率。

拖拉机的生产率主要决定于拖拉机的牽引性能和机組編配的方便性。前者表明其可能发出的牽引功率，后者表明牽引功率的可能利用程度。

1. 牽引性能 拖拉机的牽引性能主要以牽引功率作为评价指标。当拖拉机牽引农具进行田間作业时，牽引功率可由下式表示：

$$N_{kp} = \frac{P_{kp} V}{75} \cdot \frac{1000}{3600} = \frac{P_{kp} V}{270} \quad (1-1)$$

式中： N_{kp} ——拖拉机的牽引功率(馬力)；

P_{kp} ——拖拉机的掛鈎牽引力(公斤)；

V ——拖拉机的实际速度(公里/小时)。

当拖拉机在水平地段上作等速(稳定)运动时，拖拉机的牽引功率等于牽引效率与发动机有效功率的乘积。即：

$$N_{kp} = \eta_{\tau} N_e \quad (1-2)$$

式中： η_{τ} ——拖拉机的牽引效率(%)。

N_e ——发动机的有效功率(馬力)。

拖拉机的牽引性能决定于許多因素。主要的因素有发动机的功率与特性，传动系的总传动比，行走器的型式、拖拉机的重量以及土壤条件等。

2. 机組編配的方便性 編組的好坏主要以是否充分利用拖拉机的牽引功率为评价标准。机組編配的方便性决定于下列因素：

- (1) 拖拉机的总体布置；
- (2) 拖拉机工作排挡的数目及传动比的变化范围；
- (3) 拖拉机单位宽度的功率；
- (4) 悬挂系统的型式和結構；
- (5) 功率輸出軸的驅動型式及其布置；
- (6) 农业机械的型式和結構。

(二) 經濟性 拖拉机工作的經濟性主要决定于燃料經濟性。此外，也同潤滑油消耗、工資費用、拖拉机折旧費用、拖拉机的強度和可靠性以及修理特性等有关。在拖拉机理論中，主要研究燃料經濟性。

1. 燃料經濟性 拖拉机的燃料經濟性通常用每牽引馬力小时的燃料消耗量来表示。称为拖拉机的燃料消耗率。用公式表示如下：

$$g_{kp} = \frac{1000G_r}{N_{kp}} = \frac{1000G_r}{\eta_r N_e} = \frac{g_e}{\eta_r} \quad (1-3)$$

式中： g_{kp} ——拖拉机的燃料消耗率（克/牵引馬力·小时）；

g_e ——发动机的燃料消耗率（克/有效馬力·小时）；

G_r ——发动机的小时燃料消耗量（公斤/小时）。

2. 拖拉机的强度和可靠性 可靠性是拖拉机不因故障而间断工作的指标。通常以运用可靠性系数 K_{on} 来表示：

$$K_{\text{on}} = \frac{T_u}{T_u + T_n} \quad (1-4)$$

式中： T_u ——拖拉机純工作時間（小时）；

T_n ——拖拉机由于故障及修理所引起的停車時間（小时）。

三、一般技术性能

拖拉机的一般技术性能是指凡不直接影响作业的农业技术指标、生产率和經濟性的其它各种运用性能。主要是拖拉机的工作安全性及工作和維護的方便性。

（一）工作安全性 主要决定于下列因素：

1. 稳定性 拖拉机的稳定性是指拖拉机抵抗縱向翻傾、橫向翻傾或橫向滑移的性能。主要以极限坡度角和临界坡度角来評价。

2. 制动性 主要以制动距离和有效制动角度来評价。

3. 掛結装置的安全性 决定于有无自动掛結装置和該裝置的型式。

（二）工作和維護的方便性 主要决定于下列因素：

1. 拖拉机手的劳动卫生条件：

（1）駕駛室的型式和結構。

（2）座位的数目及舒适性。

（3）噪音的隔絕程度。

2. 工作方便性：

（1）发动机的起動方式与起動所需的時間。

（2）操縱桿的数目、位置和操縱力。

（3）拖拉机的照明設備。

（4）拖拉机的工作時間儲备——即拖拉机不需添加燃料而能連續工作的時間（小时）。它

决定于燃料箱容量及每小时燃料消耗量。

（5）拖拉机手对于地面和农具的視野性。

3. 維護的方便性：

（1）技术維護所需的時間占全部工作時間的百分比。

（2）技术維護時所需的最大力量。

（3）保养点的数目及可接近的程度。

以上簡略叙述了拖拉机的各种运用性能，展示了拖拉机理論这門学科所要研究的主要問題，但应注意：各个运用性能的分类不是絕对的，彼此之間有着一定的联系。同时，有許多运用性能是无法用数值表示的，这就給理論上的研究增加了不少困难，对于这些特点，必須予以足够

的注意。

§ 2 拖拉机行驶的基本原理

一、拖拉机的工作方式

拖拉机和各种农业机械共同組成拖拉机机組来完成各項农事作业。其工作方式可分为下列两类：

1. 移动式工作 移动式工作中，机組是在移动过程中完成农事作业的。移动式工作又可分为田间工作和运输工作两种。在田间工作时，拖拉机与各种牵引式农具或悬挂式农具联結在一起，对土壤或作物进行加工。这时也可以同时利用功率輸出軸或皮带輪进行工作。在运输工作时，拖拉机与牵引式或驱动式掛車联結在一起，在田间道路或公路上完成运输工作。

2. 固定式工作 拖拉机停在固定地点，通过皮带輪或功率輸出軸来带动各种固定式机器。

移动式工作是拖拉机的基本工作方法。对农业拖拉机來說，在移动式工作中又以田间工作为主。因此，拖拉机理論主要就是討論拖拉机在田间工作中的各种理論問題。

二、拖拉机的功率利用方式

拖拉机輸出的功率，都是由发动机提供的。当拖拉机作固定式工作时，就如同固定式发动机一样，发动机的功率以扭矩和轉速的方式通过皮带輪或功率輸出軸传给固定作业机。当拖拉机作移动式工作时，若不用功率輸出軸，則发动机功率經传动系統传至驱动輪，克服拖拉机本身移动的阻力，并在掛鈎上产生足够的掛鈎牵引力，克服农业机械移动及工作的阻力。若同时用功率輸出軸，則一部分发动机功率消耗于拖拉机自身行走和牵引农业机械行走（工作）方面，其余部分发动机功率通过功率輸出軸传给农业机械上需要动力的工作机构，在这种情况下，发动机所发出的有效功率应能满足这两部分功率消耗的需要。

三、拖拉机行驶的基本原理

为簡化起见，研究移动式工作无功率輸出时的情况，并以輪式拖拉机为例。行駛原理簡图如图1—1所示。

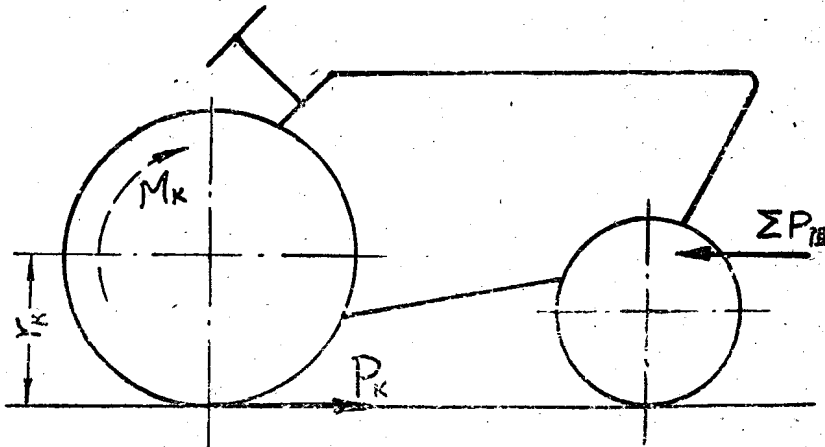


图1—1 輪式拖拉机行駛原理簡图

拖拉机行駛中必定会遇到各种各样的行駛阻力（如拖拉机自身行駛的滚动阻力、农具作用于拖拉机的牵引阻力等）。

拖拉机行駛阻力的总和决定于具体的工作条件。以 $\Sigma P_{阻}$ 表示之，并抽象为作用于拖拉机

上,如图1-1所示。

拖拉机要向前行駛,必須克服上述行駛阻力。为此,就需要有一个同行駛阻力大小相等方向相反的外力作用到拖拉机上推动拖拉机前进。这个外力称为切綫牽引力,以 P_k 表示之。

我們知道,拖拉机是一种自走机器,其动力来自发动机,发动机是安装在拖拉机机架上的,其曲軸输出的扭矩对拖拉机來說乃是一种內力,內力不能引起拖拉机向前运动,因此必須有一个內力轉化为外力(切綫牽引力)的过程。下面就来說明这个轉化过程:

发动机的扭矩經过传动系改变大小和方向之后传至驅動輪上成为驅动力矩。以 M_k 表示之。驅动力矩力图使驅動輪轉动。但因驅動輪承受着拖拉机及作业机施加給它的重量載荷,連同其自身的重量一起压向地面,于是地面对驅動輪就有了約束作用。这样,在驅动力矩 M_k 的作用下,驅動輪輪緣将对地面施加一个圓周力,該圓周力按理論計算应为 $\frac{M_k}{r_k}$ (r_k 叫做驅動輪动力半径),該力沿拖拉机行駛相反方向作用于地面。从而引起地面对驅動輪产生一个反作用力,其大小亦等于 $\frac{M_k}{r_k}$ 方向与拖拉机前进方向相同。这个反作用力就是切綫牽引力。

显然,由切綫牽引力的形成过程可以看出,它的产生需依賴两个作用:

- (1) 依賴发动机的扭矩,經传动系变化后形成一定的驅动力矩。
- (2) 依賴驅動輪与地面的相互作用(称为附着作用),造成地面对驅動輪的指向行駛方向的反作用力。

毋庸置疑,每得到一个具体的切綫牽引力,总归是上述两个作用共同協調的結果。

由上述分析可知,拖拉机直綫行駛的平衡条件应当是:

$$P_k = \Sigma P_{阻} \quad (1-5)$$

行駛阻力 $\Sigma P_{阻}$ 的数值是随着工作条件的变化而变化的,切綫牽引力 P_k 的数值应当适应着它作相应的变化,才能維持相对平衡的关系。在切綫牽引力的最大允許值范围以內,在档位一定时,相对平衡是依靠发动机調速特性的作用而自动維持住的。当行駛阻力 $\Sigma P_{阻}$ 在一定范围内变化时,发动机的扭矩和功率将按照調速特性曲綫的规律发生相应的变化,于是切綫牽引力 P_k 亦随之变化,直至建立新的平衡。如果发动机的扭矩已达到額定值或最大值,那么在原来的档位上就无法再使切綫牽引力 P_k 繼續增大了。这时,倘若行駛阻力还没有超过切綫牽引力的最大允許值,則还可将拖拉机換入較低的工作档位(例如由Ⅲ档換入Ⅱ档)来得到更大的切綫牽引力,以建立平衡。若行駛阻力已超过了切綫牽引力的最大允許值,則拖拉机就将失去正常工作的能力。

切綫牽引力的最大允許值决定于下列条件:

(1) 切綫牽引力的最大允許值由拖拉机最低工作档时的发动机額定扭矩所决定。超过該值就会使发动机超載工作。若再增大到超过发动机的最大扭矩,还会迫使发动机熄灭。

(2) 切綫牽引力的最大允許值由地面对驅動輪的指向行駛方向的反作用力的最大允許值所决定。該最大允許值通常称为附着力。到达这个数值时,驅動輪的滑轉程度也正好达到允許的最大数值。超过了附着力,驅動輪就会产生不可允許的严重滑轉。

一般情况下,由上述两方面所决定的切綫牽引力最大允許值是不相等的,实际的最大允許值应当按二者之中較小的数值来决定。当附着力足够大时,切綫牽引力的最大允許值按最低工作档时发动机額定扭矩来决定。这时若行駛阻力过分增大,則拖拉机将因发动机經常超載或者甚至被

迫熄火而不能正常工作。当附着力不足时，切綫牵引力的最大允許值决定于附着力。这时若行駛阻力超过了附着力，則拖拉机将因驅動輪产生不可允許的严重滑轉而不能正常工作。

由上述分析可知，发动机的扭矩并不是永远都能充分發揮出来的。有时它会受到驅動輪与地面間附着能力的限制而不能完全被利用。为了充分發揮拖拉机的工作能力，应当保証切綫牵引力得到最大的發揮（主要是提高附着性能），以及使行駛阻力中的损失部分尽量減小（主要是減小滚动损失）。

§ 3 拖拉机发动机的特性

现代拖拉机上大都采用柴油发动机，并且装有全制式調速器。因此，拖拉机理論問題的研究应当以柴油发动机的調速特性为基础。

发动机的調速特性曲綫一般可按三种形式繪出：

(1) 作为轉速的函数繪出

$N_e, M_e, G_T, g_e = f(n)$ 。如图1—2。

(2) 作为功率的函数繪出

$n, M_e, G_T, g_e = f(N_e)$ 。如图1—3。

(3) 作为扭矩的函数繪出

$n, N_e, G_T, g_e = f(M_e)$ 。如图1—4。

上述的調速特性曲綫是当加速桿在最大位置时測得的，这时发动机的工况称为最大速度状况。因此，这种調速特性曲綫就称为最大速度状况下的調速特性曲綫。对于装有全制式調速器的柴油发动机，还可制取各种不同加速桿位置时的調速特性。

作为轉速的函数繪出的調速特性（图1—2），便于确定发动机的一些正常指标，并可用于各种专门研究（例如研究在各种速度状况下发动机的工作或者超負荷时发动机的工作），因而这种形式的調速特性在研究发动机的动力性及燃料經濟性时得到广泛的应用。在该曲綫图上，以額定轉速 n_H 为界把整个曲綫分成两部分，一为調速器作用区段，一为校正器作用区段。当发动机无負荷时，調速器将发动机每循环噴油量調节到最小，这时发动机以空轉轉速 n_x 运转。当負荷增大时，发动机轉速降低，这时在調速器作用下，每循环噴油量增多；反之，在負荷减少时，发动机轉速增高，調速器使每循环噴油量減少，因此当轉速在額定轉速 n_H 与空轉轉速 n_x 范围内变化时，調速器按負荷的变化調节每循环噴油量来使发动机的扭矩与外界負荷相适应。这就是調速器作用区

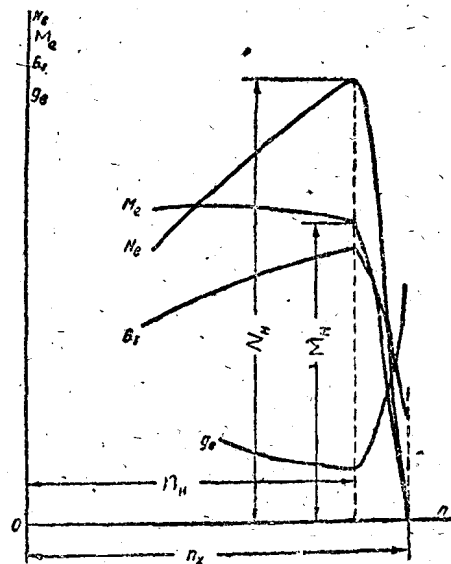


图1—2 作为轉速的函数繪出的柴油发动机的調速特性

范围。当負荷增大到发动机扭矩超过額定扭矩 M_H 时，調速器停止工作，噴油泵校正器开始起作用，增大每循环噴油量，发动机轉速降低到額定轉速以下，这时 M_e, N_e, G_T, g_e 随轉速而变化的曲綫就是校正器作用区段。如果負荷增大到发动机发出最大扭矩 $M_{e_{max}}$ 还不能克服时，发动机

就将被迫熄火。

由上述調速特性曲綫图上，可以得到柴油发动机的下列各主要性能参数：

- (1) 額定功率 N_H 及額定轉速 n_H ；
- (2) 額定扭矩 M_H 及最大扭矩 M_{emax} ；
- (3) 发动机的扭矩适应性系数：

$$k_M = \frac{M_{emax}}{M_H} \quad (1-6)$$

一般柴油发动机的 k_M 值約为1.10~1.15。

- (4) 发动机的轉速适应性系数：

$$k_n = \frac{n_M}{n_H} \quad (1-7)$$

式中： n_M ——发动机最大扭矩时的轉速

- (5) 发动机的全适应性系数：

$$k_M \cdot k_n = \frac{N_{em}}{N_H} \quad (1-8)$$

其中 N_{em} ——最大扭矩时的发动机有效功率。

- (6) 調速器的不均匀度：

$$\delta_D = \frac{n_x - n_H}{n_{cp}} \cdot 100\% \quad (1-9)$$

其中：
$$n_{cp} = \frac{n_x + n_H}{2}$$

- (7) 額定功率时的小时燃料消耗量及燃料消耗率。

- (8) 最低燃料消耗率及其功率范围。

为了便于研究調速器作用区段发动机的动力性和燃料經濟性，最好將調速特性曲綫作为功率的函数繪出(图1—3)。

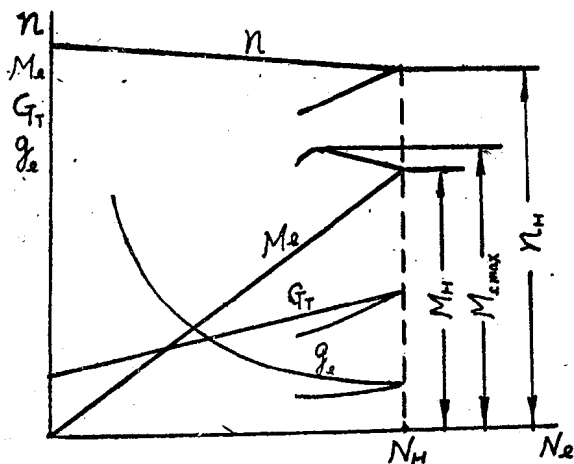


图1—3 作为功率的函数繪出的柴油发动机的調速特性

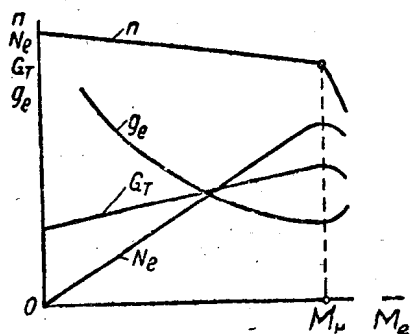


图1—4 作为扭矩的函数繪出的柴油发动机的調速特性

作为扭矩的函数繪出的調速特性曲綫(图1—4), 适用于研究发动机在不同負荷下的工作指标, 它很适合于同拖拉机的牵引特性配合在一起进行研究。便于确定拖拉机的动力性和燃料經濟性同发动机的动力性和燃料經濟性之間的关系。这种形式的調速特性在拖拉机理論中是最重要的形式。

此外, 为了表征发动机的負荷程度, 常采用发动机載荷系数的概念, 所謂发动机載荷系数是指发动机实际被利用的扭矩 M_e 与发动机額定扭矩 M_n 的比值。即:

$$k = \frac{M_e}{M_n} \quad (1-10)$$

式中 k ——发动机載荷系数(通常 $k < 1$)

§ 4 行走器上驱动力矩的确定

发动机的扭矩經由离合器、变速箱、中央传动、差速器(或鍊軌式拖拉机的轉向机构)及最終传动而传至行走器的驱动輪上, 在扭矩的传递过程中, 其大小和方向都要发生变化。

为了避免离合器在工作中发生打滑, 必須使离合器摩擦部分的最大摩擦力矩 M_M 大于发动机的額定扭矩 M_n 。二者的比值称为离合器貯备系数, 以 β 表示之:

$$\beta = \frac{M_M}{M_n} \quad (1-11)$$

β 值过小时, 离合器容易发生打滑; β 值过大时, 当工作阻力驟然增大, 曲軸驟然減速时, 又可能使发动机及传动系零件发生损坏或过分变形。一般现有离合器的貯备系数 β 值在1.5~3.8范围内。

当拖拉机稳定工作时, 发动机曲軸轉速 n (或角速度 ω)对驱动輪轉速 n_k (或角速度 ω_k)之比值称为拖拉机传动系的总传动比, 以 i 表示之。該传动比应等于变速箱、中央传动和最終传动各个传动比的乘积, 档位越低, 总传动比的值越大。

在发动机功率通过传动系传给驱动輪的过程中, 由于齿輪、軸承、油封的摩擦以及齿輪搅油阻力而損失了一部分功率。驱动輪得到的功率 N_k 与发动机功率 N_e 的比值称为传动系机械效率(简称传动效率), η_M 表示之。显然传动效率的数值恒小于一。一般拖拉机的传动效率在0.9左右。

根据上述概念, 可得:

$$i = \frac{n}{n_k} = \frac{\omega}{\omega_k} \quad (1-12)$$

$$\eta_M = \frac{N_k}{N_e} = \frac{M_k \omega_k}{M_e \omega} = \frac{M_k}{M_e i} \quad (1-13)$$

由此可得驱动力矩为:

$$M_k = M_e i \eta_M \quad (1-14)$$

这就是說: 在稳定工况下, 行走器上的驱动力矩等于发动机扭矩、传动系总传动比及传动效率的乘积。

当拖拉机加速或減速工作(非稳定工况)时, 发动机及传动系的运动元件都要加速或減速运转, 因而都有慣性力和慣性力矩。所以在非稳定工况下計算行走器上的驱动力矩 M_k 的数值时, 应当考虑发动机及传动系运动元件的慣性力和慣性力矩(常常将往复运动元件的慣性力也換算成

相当的慣性力矩)的影响。

显然,当发动机减速运转时,其曲轴输出的扭矩(即通过离合器传给变速箱第一轴的力矩)要比稳定运转时增大。这时:

$$M = M_e + J_M \varepsilon \quad (1-15)$$

式中: M ——减速运转时曲轴输出的扭矩;

M_e ——稳定运转时发动机发出的扭矩;

J_M ——发动机运动质量换算到曲轴上的转动惯量;

ε ——发动机曲轴的角减速度。

由于离合器的安全作用,该扭矩的最大值只能达到离合器最大摩擦力矩 M_M 的数值。

在拖拉机理論中,以及在计算传动系零件的强度时,通常均以稳定工况为基础。

§ 5 土壤的力学性质

农业拖拉机的基本工作都是在田间进行的。土壤的力学性质对拖拉机的工作发生重要的影响。

土壤是介于弹性体和塑性体之间的一种物质,其力学性质因具体条件的不同有较大的变化。

土壤与拖拉机的行走装置直接发生相互作用时,起主要影响的因素是土壤的抗压性能、抗剪性能及摩擦特性。

一、土壤的抗压性能

土壤的抗压性能主要随土壤类型及其含水量的不同而变化。土壤抗压应力 σ (公斤/厘米²)与压缩变形 l_s (厘米)之间的关系如图1-5所示。

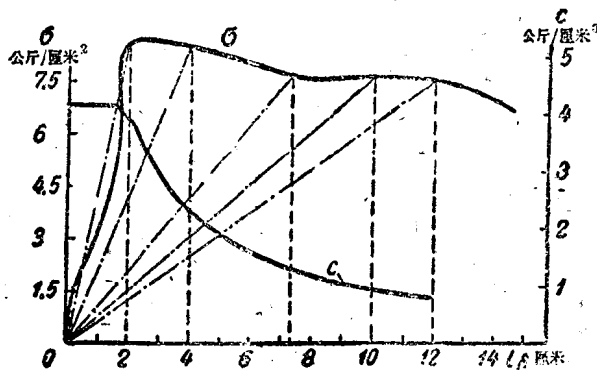


图1-5 土壤抗压应力与压缩变形之间的关系曲线

此变化关系可用下式表示:

$$\sigma = c l_s \quad (1-16)$$

式中: σ ——土壤的抗压应力 (公斤/厘米²);

l_s ——相应的压缩变形 (厘米);

c ——土壤刚性系数 (公斤/厘米³)。

分析该变化关系可知:在一定的变形范围内,应力变形近于正比关系。此时,土壤刚性系数值是个常数。到达某一临界点之后,土壤将产生“流动”, c 值急剧下降。

不同类型的土壤，应力与变形关系曲线的形状稍有不同，临界点的位置也不同。但其变化趋势却是一致的。

同一类型的土壤在不同的含水量时，土壤刚性系数 σ 的数值有较大的变化；因而其抗压强度也有较大的变化。土壤的湿度越大，抗压强度越低。图1—6所示为土壤湿度(%)与抗压强度之间的关系。

当土壤承受动载荷的作用时，其变形就不仅与载荷大小有关，而且还与载荷加上去的速度及载荷作用的持续时间有关。某些研究指出，对于粘性土壤，当轮子或链轨走过时，所形成的轮辙（或链辙）深度随行驶速度的提高将有某些减小（如果速度的提高不引起附加的动载荷的话）。

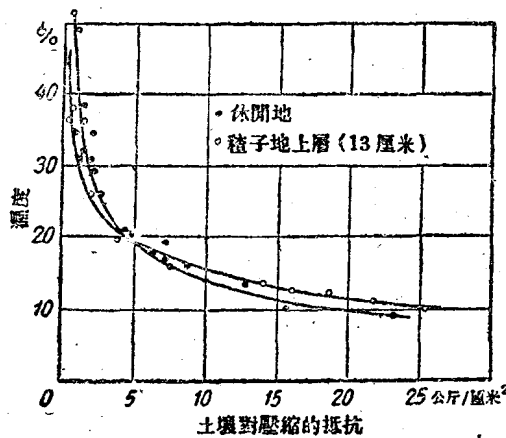


图1—6 土壤湿度与抗压强度之间的关系

二、土壤的抗剪性能

土壤的抗剪能力是由于土壤内部的粘聚力及内摩擦力的作用而产生的。粘聚力的大小决定于土壤的性质，与剪切面间的法向载荷无关。内摩擦力既决定于土壤性质，也与剪切面间的法向载荷有关。土壤的抗剪应力用下式表示：

$$\tau = \tau_0 + \sigma \operatorname{tg} \Phi \quad (1-17)$$

式中： τ ——抗剪应力（公斤/厘米²）；
 τ_0 ——粘聚力（公斤/厘米²）；
 σ ——剪切面间的法向应力（公斤/厘米²）；
 Φ ——土壤的内摩擦角（度）。

由式（1—17）可知：剪切面间的法向应力愈大，抗剪强度也愈大。但到达一定限度后，则不再增强。该界限值随土壤类型而异。

粘聚力 τ_0 的大小随土壤类型而异，沙土的 τ_0 值近于零，粘性土壤的 τ_0 值较大。

内摩擦系数也随土壤类型而异。沙土的内摩擦系数较大，而粘土则较小。同时，内摩擦系数还随土壤湿度的不同在2~0.6的范围内变化。当土壤湿度增加时，内摩擦系数值减小。

三、摩擦系数

拖拉机行走装置与土壤间的摩擦系数的大小随土壤类型及其湿度而异，通常反映在附着系数的实验数据之中。

第二章 輪式拖拉机的基本动力学

§ 1 輪子的分类

拖拉机的輪子是作为支承重量和完成行走用的。按輪子的結構材料分，有刚性輪（鋼輪）和弹性輪（輪胎）两种。按輪子的力的传递方式分，又可分为从动輪和驱动輪两种。

从动輪沿路面的滚动是在其輪軸上所受的推进力的作用下发生的。在大多数輪式拖拉机上，从动輪通常用作前导向輪。

驱动輪沿路面的滚动是在其輪軸上所受的驱动力矩的作用下发生的。一般輪式拖拉机的后輪都是驱动輪。

现代輪式拖拉机上广泛应用充气輪胎的輪子，鑑于輪胎在工作中要发生不同程度的径向变形，我們給輪胎规定几种不同的半径：

（1）名义半径 r_H ——是按輪胎尺寸标准計算的半径。

（2）自由半径 r_D ——是輪胎充气至标准气压后的实际半径。

（3）靜力半径 r_c ——是輪胎靜止时仅受垂直载荷的情况下，由輪子軸心至支承路面的距离。如图2—1所示。

（4）动力半径 r_R （或 r_n ）——是輪胎在有負荷工作时，路面反作用力的合力作用点至通过輪軸的水平平面間的垂直距离。

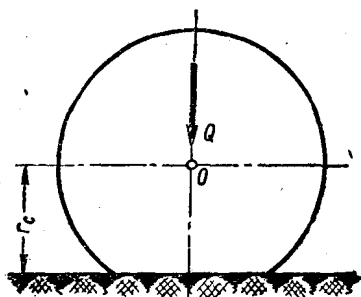


图2—1 輪胎的靜力半径

在輪子的动力学分析中应当利用动力半径来进行計算，但由于动力半径难以测定，故常用靜力半径的数值来代替。

对于刚性輪而言，其結構半径和靜力半径的数值是相等的。

§ 2 輪子的运动学

当輪子在水平路面上滚动时，若假定輪緣和路面都是绝对刚性的，則輪緣与路面之間是綫接触（在图2—2、2—3、2—4中均表现为A点）。

实际上由于輪緣和路面都不可避免地会有变形，因而輪緣与路面之間将出现某一接触面，称为輪子支承面。

根据輪子滚动条件的不同，輪子的运动可能有純滚动，有滑轉的滚动和有滑移的滚动三种情况。

一、輪子的純滚动

輪子的純滚动是一种理想运动情况。若假定輪緣和路面都是绝对刚性的，就会出现純滚动。这时，輪子的瞬时轉动中心P与輪緣和路面的接触点A重合，A点的速度等于零。当輪子繞軸心O