

中等专业学校試用教材

拖拉机构造、原理 与 計 算

下 册

翁家昌 高宗英 譚正三 刘星荣 編



中国工业出版社

1261

433

1261

1

中等专业学校试用教材



拖拉机构造、原理与计算

下 册

翁家昌 高宗英 譚正三 刘星荣 編

中国工业出版社

本书是中华人民共和国农业机械部教育司組織編写的中等专业学校的試用教材。

本书是根据1962年10月农业机械部教育司审訂的教学大綱編写。可作为拖拉机专业“拖拉机构造、原理与計算”課程的教材。

全书分上、中、下三册。上册包括緒論及第一篇“拖拉机及其发动机的构造”部份，中册包括第二篇“发动机原理与計算”，下册包括第三篇“拖拉机原理与計算”部份。

本书由鎮江农业机械学院翁家昌、高宗英、譚正三、刘星荣四位同志分章編写，由翁家昌同志主編。上册由唐宇明同志审閱，中册、下册由常佑武同志审閱。

拖拉机构造、原理与計算

下 册

翁家昌 高宗英 譚正三 刘星荣 編

*

农业机械部教育司編輯（北京东华門北河沿54号）

中国工业出版社出版（北京佟麟閣路丙10号）

北京市书刊出版业营业許可証出字第110号

中国工业出版社第三印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

*

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ ·印张 $6^{1/2}$ ·字数151,000

1964年10月北京第一版·1964年10月北京第一次印刷

印数0001—1,640·定价（科四）0.70元

*

統一书号：K15165·3263（农机-64）

目 录

第三篇 拖拉机原理与计算

第一章 拖拉机的工作条件及主要评价指标	1
§ 1-1 拖拉机的工作条件	1
§ 1-2 拖拉机的主要评价指标	2
第二章 拖拉机的总体动力学及稳定性	6
§ 2-1 轮式拖拉机的总体动力学	6
§ 2-2 履带式拖拉机的总体动力学	13
§ 2-3 拖拉机的稳定性	16
第三章 拖拉机的牵引计算及牵引特性	22
§ 3-1 拖拉机的功率平衡及牵引效率	22
§ 3-2 拖拉机传动系传动比的选择	25
§ 3-3 拖拉机的牵引计算	27
§ 3-4 拖拉机的牵引特性	29
第四章 拖拉机的离合器	36
§ 4-1 离合器的要求和评价	37
§ 4-2 离合器主要参数的确定以及磨损和发热的验算	38
§ 4-3 离合器主要元件的强度计算	42
第五章 拖拉机的变速箱	47
§ 5-1 变速箱第一轴的计算力矩	48
§ 5-2 传动系总传动比在各部件上的分配	48
§ 5-3 变速箱齿轮的计算	50
§ 5-4 变速箱轴的计算	57
§ 5-5 轴承的选择	58
§ 5-6 工作图举例	61
第六章 轮式拖拉机的转向与后桥	63
§ 6-1 轮式拖拉机的转向运动学及动力学	63
§ 6-2 转向系的传动比	64
§ 6-3 轮式拖拉机后桥主要部件的计算	66
第七章 履带式拖拉机的转向与后桥	72
§ 7-1 履带式拖拉机转向时的运动学与动力学	72
§ 7-2 履带式拖拉机的转向能力及各种转向机构的评价	76
§ 7-3 转向离合器的计算	80
§ 7-4 履带式拖拉机中央传动和最终传动的计算特点	81
第八章 拖拉机的制动器	82
§ 8-1 制动器的计算制动力矩	82
§ 8-2 蹄式制动器的计算	84

§ 8-3 带式制动器的计算	86
§ 8-4 制动传动装置的计算	88
第九章 拖拉机的行走部分	91
§ 9-1 轮式拖拉机和履带式拖拉机行走部分的比较	91
§ 9-2 轮式拖拉机前轴的计算	91
§ 9-3 履带式拖拉机半刚性悬架的结构评价及受力分析	92
§ 9-4 履带式拖拉机行走装置的计算	94
第十章 拖拉机的总体布置及结构的发展	96
§ 10-1 拖拉机的总体布置	96
§ 10-2 拖拉机结构的发展	98
主要参考资料	100

第三篇 拖拉机原理与计算

第一章 拖拉机的工作条件及主要评价指标

§ 1-1 拖拉机的工作条件

在研究、设计、评价和选用各种拖拉机时，必须根据这些拖拉机所处的客观环境，也就是说根据这些拖拉机的工作条件来进行分析。工作条件包括社会条件、自然条件和农业生产条件。

一、社会条件

社会条件指的是农业机械化的政策方针、农作制度、农业生产的组织形式、农业机械的制造和维修水平等等。在设计新拖拉机或选用已有的拖拉机时，都必须考虑到这些具体的社会情况。

二、自然条件

自然条件主要指的是地形、土壤和气候。

在山区和丘陵地带工作的拖拉机，因地形的关系，须具有较好的稳定性，以防止其翻倾。为此，可设计一种车轮能自动保持铅垂位置的山地拖拉机。

在各种不同的土壤上工作时，对拖拉机结构的要求也不同。例如，在水田中工作时，须采用叶轮或高花胶胎轮，以增加其附着力；还须提高离地间隙及改善制动器等的密封性，以防止泥水碰着机体及进入制动器。若拖拉机在砂土上工作，则须考虑到砂土的附着系数较低，宜采用四轮驱动等型式的行走装置。

气候条件对拖拉机结构型式的确定也有很大的影响，例如，东北北部地区，在七、八月小麦收获季节正好是雨季，土地潮湿，拖拉机经常因陷车而不能很好工作，所以须考虑采用宽履带、四轮驱动或附加防滑装置。

三、农业生产条件

农业生产条件包括农业机械的工作特点和农业技术要求两个方面。

拖拉机是和农业机械一起工作的，所以拖拉机的性能就必须适应农业机械的工作特点。例如，拖拉机的工作速度采取3~9公里/小时，这是因为在这个速度范围内时，耕作质量较高，农具的磨损也较少。若农具的结构性能得到了改进，能在更高的速度下耕作，那么，在设计拖拉机时，就需采取较高的速度。

拖拉机常常是在作物生长季节在田间进行作业的，所以拖拉机的结构与性能又需能满足农业技术的要求。例如，在确定中耕拖拉机的离地间隙时，需考虑该作物最后一次中耕时的高度；在确定轮距的调节范围时，需考虑到各种作物的行距。又例如，东北地区农民

有壟作的习惯，壟作能得到較高产量，但現有履带式拖拉机的履带太寬，会发生压壟現象。因此，提出設計一种窄履带的想法。

以上我們仅原則地列举了一些研究拖拉机时須考慮到的各种工作条件。在实际設計拖拉机时，須对这些条件作詳細而深入的分析，这些条件是极为复杂的，而其要求可能又是互相矛盾的，必須全面地來考虑。

§ 1-2 拖拉机的主要评价指标

拖拉机的設計和制造等工作的最終目的是为了拖拉机的使用。因此，拖拉机的好坏也是根据其使用性能来評价的。研究拖拉机評价指标的目有二：（1）对現有拖拉机进行正确的估价和选用；（2）对新設計的拖拉机提出改进的依据和方向。

拖拉机的使用性能可分为三类：农业技术性能、技术經濟性能和一般技术性能。

一、拖拉机的农业技术性能

农业技术性能是指拖拉机对农业技术要求的适应性，主要包括：拖拉机的通过性、拖拉机的机动性和拖拉机的平順性等。

（一）拖拉机的通过性

拖拉机的通过性是指拖拉机能在田間、山地、松软或潮湿地区順利地通过，而不会产生陷車、翻傾和影响作物生长的性能。这些性能中有一些不属于农业技术性能，但为了討論方便，也併在此处一同研究。

1. 行間通过性

行間通过性是拖拉机能在不影响作物的生长的条件下，通过作物行間的性能，对中耕拖拉机來說，这是一項主要的評价指标。

行間通过性又可分为三类：

（1）作物之上的行間通过性

拖拉机进行中耕作业时，机体須在农作物的上面通过，为了在通过时不损坏农作物，必須使拖拉机具有較高的离地間隙。离地間隙有两种：道路离地間隙和农业离地間隙（图 1-1）。道路离地間隙通常是指拖拉机壳体下面的最低点（一般在纵軸綫下面）离地面的距离，这个間隙是为了防止壳体碰着凸起障碍物而需要的，对通用型拖拉机所要求的离地間隙就是这种，其数值約为 300~400 毫米。农业离地間隙是指在作物通过处壳体底面离地面的距离（这位置一般可认为在纵軸綫与車輪的中間，見

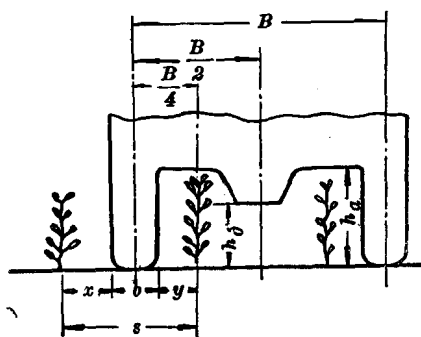


图 1-1 离地間隙、行距和保护区
 h_0 —道路离地間隙； h_a —农业离地間隙； s —行距； B —輪距； x, y —外保护区和內保护区。

图 1-1)，作物之上的行間通过性就是用这个指标来評价的。农业离地間隙的大小需根据中耕时作物的高度来确定，一般在 450~1,000 毫米的范围内。

拖拉机在作物之上通过时，其車輪或履带必然在作物之間行駛，为了保証車輪或履带不致碰坏地面上的枝叶和压坏地下的根果，須使車輪或履带与作物之間保留有一定的間隙，这間隙称为保护区，保护区的大小根据作物的形状和性能来确定。为了获得适当的保

护区，車輪和履帶不宜太寬，輪距和軌距的調節間隔要适当。

(2) 作物之間的行間通过性

在中耕葡萄等作物时，拖拉机整車是在两行作物之間行駛。这时对拖拉机的要求是外形宽度要小（小于行距），輪廓要平滑，以免碰坏枝叶或压坏根子。为了滿足作物之間行間通过性的要求，常生产一种專門用的窄宽度的变型，如在 MT3-50 基础上試制的葡萄园用的 MT3-54 型、福格生-35 型的果园型。后者的宽度仅 1,168 毫米，較該型的普通型（宽度为 1,630 毫米）窄得多。

(3) 作物之下的行間通过性

当拖拉机在果树下通过而进行作业时，須要求拖拉机整体高度較低，沒有向上伸出的零件（如排气管等）。

2. 平地通过性

拖拉机的平地通过性指的是在平坦的松软或潮湿土壤上通过的性能。在这种土壤上行駛时，拖拉机易下陷及发生严重滑轉的現象。北方地区，春天积雪初融时，就会发生这种情况，因而影响了拖拉机的正常出車。

影响平地通过性的主要因素是：行走部分的型式及其对土壤的单位面积压力。

土壤单位面积压力 q （公斤/厘米²）可以用下式表示：

$$q = \frac{G}{F}, \quad (1-1)$$

式中 G ——拖拉机的重量（公斤）；

F ——履带或輪胎的支承面积（厘米²），履带的支承面积可按支承面的长度及履带宽度来确定，輪式拖拉机的支承面积如图 1-2 所示。

輪式拖拉机的 q 通常为 0.85~1.1 公斤/厘米²，而履带式拖拉机的 q 为 0.4~0.5 公斤/厘米²。所以履带式拖拉机不易下陷，具有較好的平地通过性。当拖拉机通过沼泽地时， q 的值須低到 0.1~0.2 公斤/厘米²，所以有專門为沼泽地用的具有寬履带的变型。

3. 山地通过性

拖拉机的山地通过性是指拖拉机能在具有纵向或横向坡道上行駛或耕作，而不致产生翻傾的性能。这种性能就是拖拉机的稳定性，在下一章将要詳細叙述。

(二) 拖拉机的机动性

拖拉机的机动性包括操纵性、行駛直綫性和最小轉向半径等。

1. 操纵性及行駛直綫性

拖拉机的操纵性就是拖拉机能按拖拉机手的意图沿給定的方向行駛的性能，这种性能的好坏决定于轉向机构的型式和車輪的定位等。拖拉机的行駛直綫性是拖拉机保持直綫行駛的性能。拖拉机直綫行駛性不好时，則拖拉机在行間弯曲前进不但生产率低，还会产生漏耕（图 1-3）、漏播現象；中耕时会碰坏作物；而且拖拉机手須經常糾正行駛方向，产生过度疲劳；轉向机构因此也易磨損。

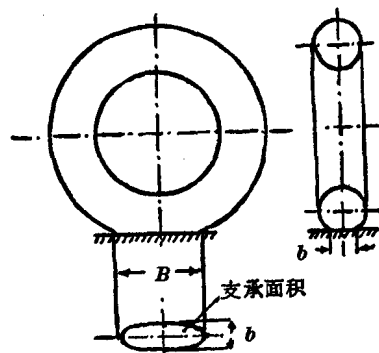


图 1-2 輪式拖拉机的支承面积

2. 最小轉向半徑

拖拉機在田間作業時，到田頭須轉彎，轉彎時須將農具提起不進行工作。因此，轉向半徑愈小時，在田頭轉彎所費的時間愈少，田頭留下的未耕作的面積也愈小，所以轉向半徑小時，能提高拖拉機的生產率 and 經濟性。

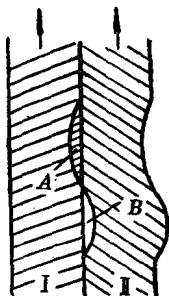


圖1-3 行駛直線性不好時產生的重耕和漏耕現象

I—第一次耕作的區域（拖拉機按直線行駛）；
II—第二次耕作的區域（拖拉機偏离直線行駛）；
A—重耕區；B—漏耕區。

最小轉向半徑就是轉彎時轉向中心到拖拉機縱軸綫間的最小距離，其數值決定於轉向機構的型式；也決定於發動機功率及附着性能。因為，雖然轉向機構的型式能實現以某個較小的半徑轉彎，但若發動機功率不足或附着力不夠，也不能達到轉彎的目的（因為轉彎時發動機負荷及快側履帶上的切綫牽引力都增加）。

轉向半徑的大小與農具的型式也有關。帶懸掛農具比帶牽引農具時能得到較小的轉向半徑。

（三）拖拉機的平順性

拖拉機的平順性是指拖拉機帶農具進行作業時，拖拉機及機具的振動對拖拉機手、機件及作業質量的影響性能。行駛平順性不好時會使作業質量不好，機件易損壞，拖拉機手也易疲勞。

影響平順性的因素主要是懸架的型式和行走部分結構的型式。

二、拖拉機的技术經濟性能

拖拉機的技术經濟性能主要用生產率 and 經濟性來表示。

（一）拖拉機的生產率

拖拉機的生產率用單位時間內完成的作業畝數或公頃數來表示，生產率的大小與掛鉤功率的大小成正比，即

$$W = CN_{\text{кв}} \quad (1-2)$$

式中 W ——拖拉機的生產率（公頃/小時）；

$N_{\text{кв}}$ ——拖拉機的有效掛鉤功率（馬力）；

C ——常數，此數值的大小與土壤的比阻力、作業的種類等有關。

由式（1-2）可看出決定拖拉機生產率的主要因素是有效掛鉤功率。具有同功率發動機的拖拉機，能發揮的有效功率的大小決定於兩個因素：牽引效率和機組編排的方便性。

發動機發出的功率傳到農具時，必然會有一些損失，損失的大小與滾動阻力、滑轉損失、傳動系的機械摩擦損失等有關（這個問題在第三章內將作專門的討論）。除去這些損失後的有效掛鉤功率與發動機功率的比值稱為牽引效率。

牽引效率雖高，若機組編排的方便性不好，發動機的功率仍不能充分地得到利用。所謂機組編排方便性，就是農具能方便而合宜地與拖拉機配套的性能。例如，某一種拖拉機帶三鏟犁拉不動，帶二鏟犁功率餘的很多，結果只能帶二鏟犁，有一部分功率不能發揮，這就是機組編排性不好。拖拉機的排檔數目、速度和牽引力的範圍、懸掛系統的型式、動力輸出軸的型式及其布置等都與機組編排的方便性有關。機組編排的方便性好時，不僅發動機的功率能充分發揮，而且農具能很好地發揮作用，拖拉機的工作範圍也能擴大，因而生產率得到提高。

（二）拖拉機的經濟性

拖拉机的經濟性是指完成每单位工作量所需的費用，它包括燃料費、潤滑油費、工資費、折旧費和修理費等，而其中最主要的是燃料消耗的費用。

評价燃料消耗的費用——燃料經濟性是用：（1）挂鈎馬力的比燃料消耗量 $g_{\text{кв}}$ （克/馬力-小時）和（2）完成每公頃农业作业的燃料消耗量 g 。（公斤/公頃）来表示的。这个指标的数值越低則經濟性越好。

三、拖拉机的一般技术性能

拖拉机的一般技术性能是指不直接影响农业技术指标、生产率和經濟性的其他使用性能。例如，工作的安全性，工作和維護的方便性等。

（一）工作的安全性

工作的安全性包括稳定性和制动性等。稳定性不好，会发生翻傾；制动性不好，拖拉机在坡道上制动不住，或者在較短的距离不能急刹住，因而造成事故。

（二）工作和維護的方便性

工作和維護的方便性包括視野性、調整、維護和挂接农具的方便性、燃料的儲备量和拖拉机手的工作条件等。

視野性是指拖拉机手工作时能看到农具作业情形及車輪（或履帶）行駛路綫的性能，这个性能可用拖拉机手看不到的区域的大小（图 1-4 阴影部分）及其是否重要来評价。

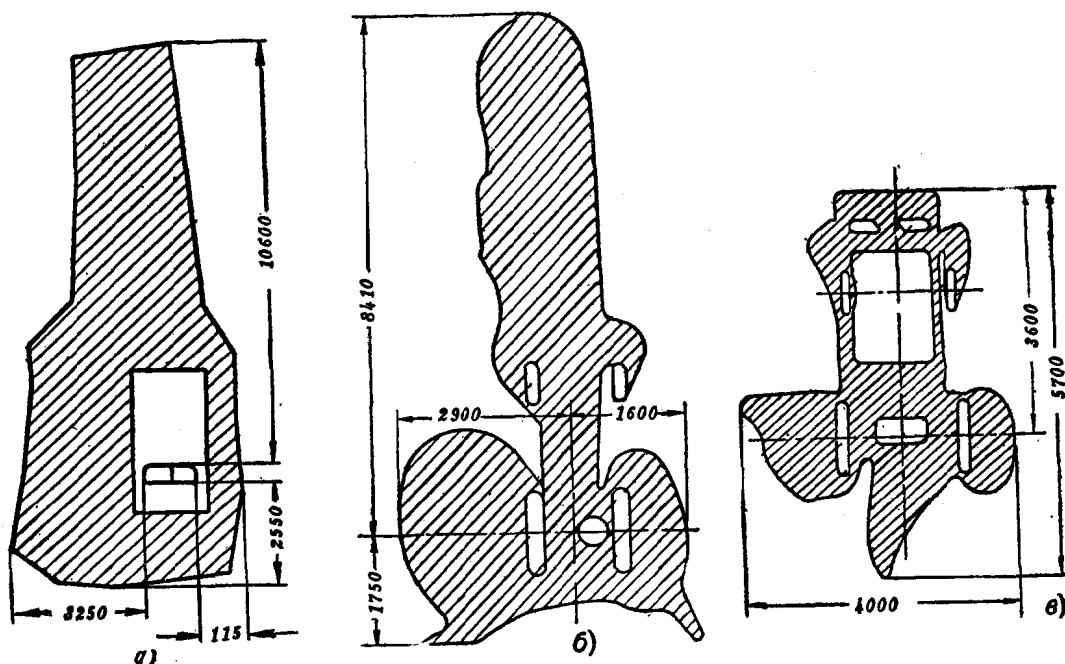


图 1-4 拖拉机的視野性

а) 东方紅-54 型（履帶式）； б) MT3-2 型（輪式）；
в) ДСМ-14 型（自动底盘）。

調整、維護和挂接农具的方便性是指輪距不清节、农具的挂接、发动机的起動以及其他調整和維護作业的性能，这种性能的好坏会影响經濟性和劳动强度。

燃料的儲备量是指拖拉机一次加燃料后能連續工作的時間，它等于燃油箱的油量和每小时燃料消耗量的比值。

拖拉机手的工作条件包括駕駛室的型式与构造、駕駛座的舒适性、排气噪音的隔絕程度等。

上述拖拉机各种性能的划分界限只是概略性的，往往一种性能的好坏，会影响好几个方面，因此很难作严格的划分。

在依据上述使用性能来评价拖拉机的好坏时，必須根据 § 1-1 所述的拖拉机实际工作条件，将各种使用性能分清主次，衡量得失，仔細地加以判断。因为上述使用性能的指标往往是互相矛盾的，不可能同时得到，而且也不一定須要同时得到，所以必須依据这个拖拉机实际的工作条件加以考虑。

例如，提高离地間隙会改善行間通过性，但离地間隙提高后，重心必然相应的提高，这就会降低其稳定性。若这台拖拉机用于中耕，那么，主要是評証其行間通过性；若用于山地，則首先須评价其稳定性。又例如，履带式拖拉机的支承面积越大，則平地通过性越好，但支承面积大时，必然是履带較寬或者履带支承面較长；履带寬时，中耕通过性不好，履带支承面长时，轉弯不方便，所以也須要根据拖拉机的具体工作条件来评价。

第二章 拖拉机的总体动力学及稳定性

§ 2-1 轮式拖拉机的总体动力学

一、拖拉机的驱动力矩

(一) 拖拉机发动机的特性及其对拖拉机工作的适应性

在第二篇里我們介紹了发动机的特性，这里将此特性再扼要的重述一下，并說明其对拖拉机工作的适应性。

拖拉机带农具在田間作业时，由于土壤对农具的阻力是不断地在某一幅度內变化的，因此，发动机的扭矩也相应地不断地在变化。由于調速器的作用，在額定轉速 n_n 到最大空轉轉速 n_x 之間（图 2-1），扭矩虽有很大变化，而轉速变化不大，这样可使拖拉机近似地以等速度工作。拖拉机等速工作时，机件不易損坏，拖拉机手不易疲劳，而且耕作质量也較高。因此，这种特性很适合拖拉机的工作特点。

拖拉机工作时，有时会因碰着石块、树根或因急轉弯而阻力突增，在这短暫的阻力突增的時刻，由于校正器的作用能使最大扭矩由 M'_{max} 提高到 M_{max} 。这样，拖拉机在遇到一般障碍物的情况下，不会因扭矩不足而熄火，这种特性也适合拖拉机的工作特点。

当发动机以額定情况（轉速 n_n 、扭矩 M_n ）工作时，功率發揮得最大，經濟性也較好，因此我們挂接农具时，总是使其載荷相当于发动机的扭矩为 M_p ， M_p 比額定扭矩 M_n 略小些。这样，农具的阻力不断在某一幅度內变化时，发动机的扭矩也相应地在 M_p 附近变化，其上限大致地在 M_n 附近。如此，可使拖拉机經常在功率最大，經濟性較好的区域內工作，而速度也近似地保持不变。

M_p 对 M_H 的比值称为拖拉机的负荷程度或载荷系数, 其数值根据作业时载荷变化的幅度而定。载荷变化大时, 这系数应取低些, 以避免发动机经常在超过 M_H 的区域内工作, 因为在 M_H 到 M_{max} 区段内, 拖拉机的速度会变化较大, 不宜经常工作。耕作时载荷系数约为 0.88~0.95 左右。

因为拖拉机是经常在 M_H 附近工作, 所以在以后的计算中, 常取额定扭矩 M_H 作为计算扭矩。

(二) 驱动力矩及切线牵引力的确定

发动机的扭矩 M_e 通过传动系传到驱动车轮或驱动链轮上; 传到驱动轮上的力矩 M_K 可表示为:

$$M_K = M_e i \eta_m \quad (2-1)$$

式中 i ——传动系的总传动比(即通过传动系后扭矩增加的倍数, 也即是速度降低的倍数);

η_m ——传动系机械效率(此效率约在 0.9 左右,

因为动力通过传动系时, 由于轴承、齿轮等运动时产生些摩擦, 所以损失了一部分功率)。

当发动机发出的扭矩为 M_H 时, 则式 (2-1) 变为:

$$M_K = M_H i \eta_m \quad (2-1)'$$

必须指出, 公式 (2-1) 和 (2-1)' 都是等速运动时的情况; 在不等速行驶时, 须考虑惯性力的影响。例如, 在减速时, 发动机旋转零件(主要是飞轮及传动系旋转零件)因减速而放出惯性力矩, 该力矩也传到驱动轮上, 所以传到驱动轮上力矩的最大值可比式 (2-1) 中求得的 M_K 为大。

传到驱动轮轴上的力矩 M_K 换算成驱动轮缘上切线方向的力时, 得到:

$$P_K = \frac{M_K}{r_K} = \frac{M_e i \eta_m}{r_K} \quad (2-2)$$

式中 P_K ——切线牵引力;

r_K ——驱动轮的半径。

对轮式拖拉机来说, 驱动轮滚动时, 在轮胎与土壤的接触处(支承面上), 车轮给土壤一个作用力, 而土壤也给车轮一个反作用力, 此力的大小就等于式(2-2)中的 P_K 。以后我们称土壤给车轮的这个反力为切线牵引力, 其方向也按照反力的方向, 也就是与行驶方向相同。此力推动拖拉机前进。在履带式拖拉机上, 情形也相似, 驱动链轮将履带卷动, 因此, 与地面接触的一部分履带(履带接地段)受到 P_K 的拉力向后压实土壤, 而土壤也给拖拉机一个反力 P_K , 这 P_K 就是切线牵引力, 方向也是向前。

二、轮式拖拉机的滚动阻力

(一) 导向轮的力学

图 2-2 为导向轮滚动时其与路面接触情况及受力的情形。图中假定拖拉机是等速行驶, 并且不计入车轮上的滚动阻力, 这样作用在车轮上的外力只有三个:

Q_n ——导向轮上的载荷(包括车轮本身的重量);

R_n ——土壤对车轮的反作用力;

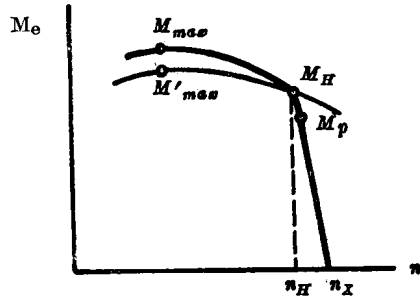


图 2-1 发动机的外特性图

F_n ——机体推动导向轮前进的推动力。

土壤对导向轮的反作用力 R_n 是整个支承面 (AA_2 段) 上反作用力的合力, 由于 AA_2 綫段总是偏在車軸中心 O 的前面, 因此, 合力的着力点 A_1 也偏在前面, 所以, R_n 的方向是向后偏, 且通过軸心 O 。

R_n 可分解成 X_n 和 Y_n 两个分力:

X_n ——土壤对导向轮的切向反作用力, 且 $X_n = F_n$, 此力阻止車輪前进, 因此, 即是滚动阻力;

Y_n ——土壤对导向轮的垂直反作用力, $Y_n = Q_n$ 。

由此可以看出: 拖拉机等速行駛时导向輪上所需的推动力 F_n 等于其滚动阻力 X_n , 土壤对导向轮的垂直反作用力 Y_n 等于其載荷 Q_n , 垂直反力 Y_n 偏离軸心 O 的距离为 a_n 。

(二) 驱动轮的动力学

驱动輪与路面接触情形及受力情形如图 2-3 所示。图中:

Q_k ——驱动輪上所载的載荷 (包括驱动輪本身重量);

R_k ——土壤对驱动輪的反作用力, 此力同样可分解为 X_k 与 Y_k , 其意义也与导向輪上的相同;

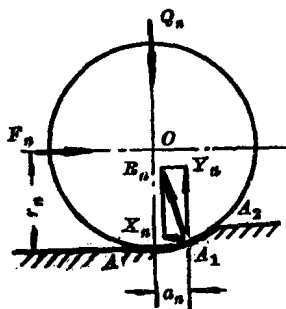


图 2-2 导向輪受力簡图

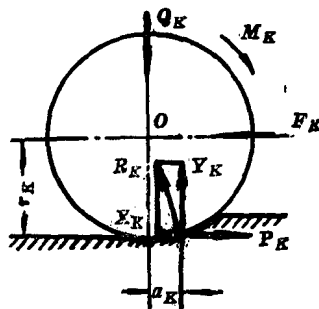


图 2-3 驱动輪受力簡图

F_k ——驱动輪施加于机体的推动力的反作用力; 因为驱动輪以 F_k 力推动拖拉机机体前进, 所以对驱动輪來說, 是受到一个向后的反作用力 F_k 。

P_k ——驱动輪的切綫牽引力, 即式 (2-2) 中所叙述的驱动拖拉机前进的力。

由上图可以看出: 拖拉机等速行駛时驱动輪上所需的驱动力 P_k 等于其本身的滚动阻力 X_k 与推动机体的力 F_k 之和; 土壤对驱动輪的垂直反作用力 Y_k 等于驱动輪上的載荷 Q_k , 垂直反力 Y_k 偏离軸心的距离为 a_k 。

(三) 滚动阻力系数

前已叙述导向輪和驱动輪的滚动阻力各为 X_n 和 X_k , 因为滚动阻力可写成为滚动阻力系数和載荷的乘积, 所以 X_n 和 X_k 可分別表示为:

$$X_n = fY_n \text{ 和 } X_k = fY_k,$$

式中 f ——滚动阻力系数。

拖拉机行駛时的总滚动阻力 P_f 等于 X_n 和 X_k 之和, 所以可得出:

$$P_f = X_n + X_k = f(Y_n + Y_k) = fG \quad (2-3)$$

式中 G ——拖拉机的重量, $G = Y_n + Y_k = Q_n + Q_k$ 。

当拖拉机在坡道上工作时, 只有 $G \cos \alpha$ 分力作用在地面上 (α 为坡度角), 所以上式应改为:

$$P_r = fG \cos \alpha. \quad (2-4)$$

产生滚动阻力的原因很多, 主要是:

1. 土壤的变形——車輪駛过土壤时, 土壤被压实, 压实土壤就需要消耗一部分功率;
2. 輪胎的变形——車輪滚动时, 輪胎各部分不断地发生变形然后再恢复原状, 在变形过程中胎内各部分間发生摩擦, 因摩擦而損失的功率在复原时并不能收回, 因而也損失一部分功率;
3. 土壤与輪胎間以及土壤的内部因車輪滾过而产生摩擦, 由于摩擦也消耗一部分功率。

上述的功率消耗即构成了滚动阻力。

在松軟的土壤上行駛时, 土壤变形所消耗的功是主要的, 因此, 为了减少土壤变形, 輪胎的气压应低些; 在硬质的路面上行駛时, 輪胎变形所消耗的功是主要的, 因此, 为了减少輪胎变形, 輪胎的气压应高些。

影响滚动阻力的因素很多, 主要是土壤的性质、輪胎的气压、車輪的尺寸等。一般說来, 土壤愈松軟、車輪的直径愈小、寬度愈窄, 則滚动阻力愈大。輪胎的气压过低和过高, 滚动阻力都增加; 在某一給定值时, 滚动阻力可最小。

旧式拖拉机上曾采用过鋼輪, 因为鋼輪的滚动阻力大; 同时振动也大, 所以現在已不采用, 而都改用充气輪胎。

充气輪胎的滚动阻力系数如表 2-1 所示。

表 2-1 輪式拖拉机的滚动阻力系数 f

土 壤 或 路 面 的 型 式	f	土 壤 或 路 面 的 型 式	f
漚 青 路	0.02	休 閒 的 耕 地	0.12
干 土 路	0.03~0.05	新 耕 地	0.18
湿 草 地	0.08	砂 砾 地	0.16~0.20
湿 留 茬 地	0.10	沼 泽 地	0.25

三、輪式拖拉机的附着性能

(一) 附着系数与附着力

当車輪在土壤上 (或路面上) 滚动时, 車輪与土壤 (或路面) 間产生了附着力 P_φ , 这附着力 P_φ 限制了車輪发生滑轉或滑移。

所謂滑轉, 就是驅动车輪就地打滑, 車輪虽轉动, 但拖拉机并不前进; 所謂滑移, 就是从动车輪只移动而不轉动。当驅动輪被制动在下坡道上时, 若制动力很大而附着力不足也会发生滑移現象。

驅动輪上产生附着力的原因有二 (图 2-4) :

1. 車輪滚动时, 車輪与土壤的接触表面上产生摩擦力 P_{φ_1} ;
2. 車輪滚动时, 陷入在土中的胎紋凸出部分向后压缩土壤, 土壤产生一个反作用力 P_{φ_2} 。

这两个力都阻止車輪产生滑轉。其中 P_{φ_1} 的数值与摩擦系数和载荷成正比； P_{φ_2} 的数值与輪胎沉沒在土壤中的总横断面积（垂直于行駛方向的面积）成正比。因此，附着力 P_{φ} 可表示为：

$$P_{\varphi} = P_{\varphi_1} + P_{\varphi_2} = \mu Q_K + \sigma_{\max} \cdot F \quad (2-5)$$

式中 μ ——摩擦系数；

$\sigma_{\max}$ ——土壤能产生的最大反作用力，也即是土壤能承受的最大水平方向应力；

F ——沉入在土壤中的胎紋总断面积。

式 (2-5) 表示了附着力形成的原因及其影响因素。从式中可以看出，土壤愈坚实（ $\sigma_{\max}$ 愈大）、驱动輪上载荷愈大、摩擦系数愈大、沉沒在土中的断面愈大，則附着力愈大。但式 (2-5) 在使用时并不方便，因为式中很多数值常常是未知的。

实用的表示附着力的公式为：

$$P_{\varphi} = \varphi G_{\text{on}} = \varphi Q_K \quad (2-6)$$

式中 φ ——附着系数；

G_{on} ——附着重量。

附着重量即是能产生附着力的一部分拖拉机重量，对常用的后輪驱动的拖拉机 $G_{\text{on}} = Y_K$ ；对四輪驱动的拖拉机 $G_{\text{on}} = Y_K + Y_n = G$ 。

附着系数 φ 是在不同的土壤上根据实验求得的，其平均值約如表 2-2 所示。

驱动輪能产生的切綫牵引力 P_K 不可能大于附着力 P_{φ} ，因为 $P_K > P_{\varphi}$ 时土壤将被胎紋挤裂或剪裂，因此，驱动輪将就地滑轉而不能前进。所以尽管发动机还能供給更大的驱动力矩， P_K 也不能再大，所以可得知 P_K 必等于或小于 P_{φ} ，即

$$P_K \leq P_{\varphi} \quad (2-7)$$

当 P_K 小于 P_{φ} 时，虽然拖拉机不会产生就地滑轉而不能前进的現象，但驱动輪上也有些滑轉損失。設拖拉机的理論速度为 v_T ，实际速度为 v （因胎紋向后压缩土壤时向后退了些，所以实际速度 $v < v_T$ ），那么滑轉損失 δ 为：

$$\delta = \frac{v_T - v}{v_T} \times 100\% \quad (2-8)$$

表 2-2 輪式拖拉机驱动輪上的附着系数 φ

土壤或路面型式	φ	土壤或路面型式	φ
湿 青 路	0.7	休 閒 的 耕 地	0.5
干 土 路	0.6~0.8	新 耕 地	0.4
湿 的 畜 牧 草 地	0.7	砂 砾	0.3~0.4
湿 留 茬 地	0.6	沼 泽 地	0.1

滑轉損失 δ 是不可避免的，切綫牵引力越大，滑轉損失也越大，但只要不超过一定的范围是允許的。超过了允許的极限值后，切綫牵引力略增， δ 就会猛增，很快就达到全滑轉

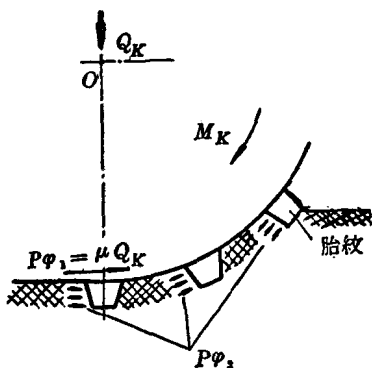


图 2-4 驱动輪上的附着力简图

情况，这时拖拉机不能前进。

(二) 影响附着力的因素及提高附着力的措施

影响附着力的因素很多，除在式(2-5)中已表示出来的(载荷、土壤性质、胎纹型式、摩擦力等)之外，土壤的湿度、轮胎的气压、车轮的结构尺寸等也都有关系。湿度增加时附着力显著下降；在松土上适当降低气压时附着力会提高；车轮结构尺寸增大附着力也增加。

在轮式拖拉机上常常因为附着力的不足而使切线牵引力不能得到充分的发挥。随着拖拉机结构重量的减轻(附着重量也因而减少)，这个问题更加突出。因此，必须采取措施，在附着力不足时(如在滑溜及潮湿的土壤上工作时)提高其附着力。

提高附着力的方法常用的有下面几种：

1. 在驱动轮上加配重或给驱动轮内灌水，以提高驱动轮上的 Q_n (即附着重量 G_{on})，当不需要时，可将配重取下或將水放出。

2. 在轮胎旁边加上附加铁轮。可伸缩的防滑爪等，使之提高附着系数(图2-5)。

3. 采用半履带装置。因为履带的附着系数较轮胎大；同时，加上半履带后也增加了附着重量。

4. 采用四轮驱动，使前轮的载荷 Q_n 也可用作附着重量。

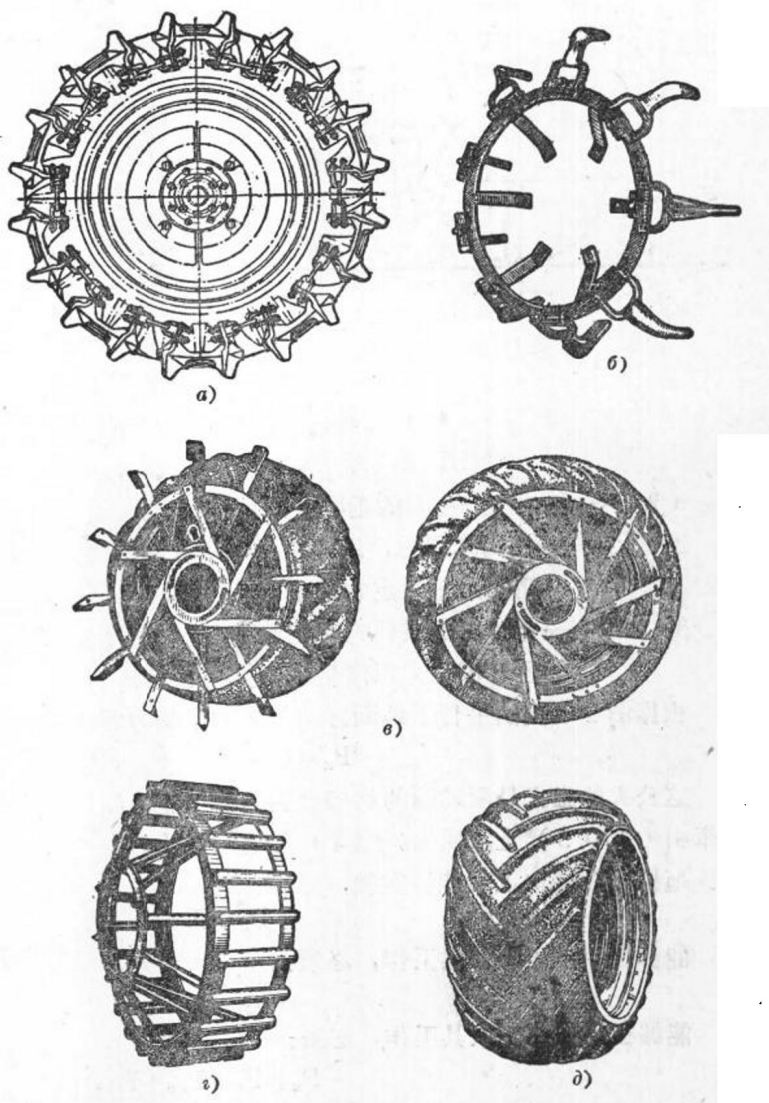


图 2-5 提高驱动轮附着性能的方法

a) 加上防滑爪后的轮胎；b) 卸下的防滑爪；c) 伸缩式防滑爪；d) 附加铁车轮；e) 宽胎车轮。

四、轮式拖拉机的总体动力学

前面我们讨论了车轮的动力学，以及作用在车轮上的切线牵引力 P_x 、滚动阻力 P_r 、附

着力 P_φ 。现在再来讨论拖拉机总体动力学以及作用在拖拉机上的诸力。

拖拉机在坡道上工作时受力情形如图 2-6 所示。

由于机体对导向轮和驱动轮的力 F_n 和 F_k 现在成了内力，所以图中未画出。作用在导

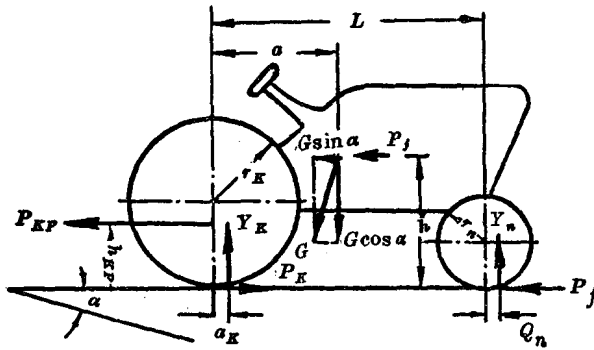


图 2-6 轮式拖拉机受力简图

向轮和驱动轮上的滚动阻力 X_n 和 X_k ，在图中以其总和 P_r 表示。另外作用在前后轮上的载荷 Q_n 和 Q_k 现在以拖拉机总重量 G 表示。因此，在图上的力只有 Y_n 、 Y_k 、 G 、 P_k 、 P_r 、 P_f 和 P_{kp} 等几个，其中：

1. G ——拖拉机的重量，在坡道上工作时可分为：

(1) $G \sin \alpha$ ——上坡阻力，当拖拉机上坡时为了提高拖拉

机的位能必须施加的力（下坡时这力成了推动力）。这力也常用 P_α 表示；

(2) $G \cos \alpha$ ——重力的垂直分力。

2. P_{kp} ——挂钩牵引力，即拖拉机牵引农具的力，这力并不一定与路面平行，为了简化起见假定它为平行。

3. P_f ——加速时的惯性力（减速时方向相反），严格地说，拖拉机加速时车轮上还有惯性力矩产生，这里把它忽略了。

根据图 2-6 列出平行于地面方向各力的平衡方程式，得：

$$P_k = P_r + P_{kp} + P_\alpha + P_f \quad (2-9)$$

这公式的意义是驱动轮的切线牵引力用于克服四种阻力：（1）滚动阻力；（2）挂钩牵引力；（3）上坡阻力；（4）加速惯性力。

拖拉机在平地上若能够空驶，必须：

$$P_k \geq P_r;$$

能够在平地上带农具工作，必须：

$$P_k \geq P_r + P_{kp};$$

能够在坡道上带农具工作，必须：

$$P_k \geq P_r + P_{kp} + P_\alpha.$$

必须记住，保证拖拉机能行驶还须具备一个条件，即前述的附着力条件：

$$P_\varphi \geq P_k.$$

根据图 2-6 也可求出土壤对前后车轮的垂直反作用力 Y_n 和 Y_k 分别为：

$$Y_n = \frac{Ga \cos \alpha - (P_f + G \sin \alpha)h - P_{kp}h_{kp} - Y_n a_n - Y_k a_k}{L}, \quad (2-10)$$

和

$$Y_k = \frac{G(L-a) \cos \alpha + (P_f + G \sin \alpha)h + P_{kp}h_{kp} + Y_n a_n + Y_k a_k}{L}. \quad (2-11)$$

式中 L ——轴距；