

高等学校教材

# 拖拉机设计

(第2版)

吉林工业大学 程悦荪 主编

机械工业出版社

高等学校教材

# 拖拉机设计

(第 2 版)

吉林工业大学 程悦荪 主编

机械工业出版社

## 主要符号表

$a$ ——拖拉机质心至过后轮轴线横垂面的水平距离(拖拉机质心纵向坐标)、圆柱齿轮标准中心距	$m_T$ ——齿轮模数
$a'$ ——圆柱齿轮实际中心距	$n_o$ ——发动机转速
$B$ ——拖拉机轮距、轨距	$n_{ob}$ ——发动机标定转速
$b$ ——齿轮齿宽	$P_o$ ——发动机功率
$d$ ——齿轮分度圆直径	$P_{ob}$ ——发动机标定功率
$e$ ——拖拉机质心横向坐标	$P_T$ ——拖拉机牵引功率
$f$ ——滚动阻力系数	$p$ ——单位压力
$F_f$ ——滚动阻力	$R$ ——转向半径、锥距
$F_q$ ——拖拉机驱动力	$r_{dq}$ ——驱动轮动力半径
$F_T$ ——挂钩牵引力	$s$ ——行程、强度
$F_{Tb}$ ——拖拉机标定牵引力	$t$ ——时间、履带节距
$F_{\varphi}$ ——附着力	$v$ ——拖拉机实际速度
$F_0$ ——履带预加张紧力	$v_t$ ——拖拉机理论速度
$m_j, G_j$ ——拖拉机结构质量及其所受重力	$W$ ——滑磨功、抗弯断面系数
$m_s, G_s$ ——拖拉机使用质量及其所受重力	$w$ ——单位滑磨功
$G_{\varphi}$ ——产生附着力的垂直载荷	$x$ ——齿轮径向变位系数
$h$ ——拖拉机质心的高度坐标	$x_s$ ——齿轮切向变位系数
$H$ ——离地间隙	$z$ ——齿数
$H_n$ ——农艺离地间隙	$\alpha$ ——齿形角、坡度角
$i$ ——传动比(主动轴转速与从动轴转速之比)	$\beta$ ——离合器储备系数、螺旋锥齿轮螺旋角
$i_T$ ——传动系总传动比	$\nu$ ——泊松比
$i_b$ ——变速箱传动比	$\eta_T$ ——拖拉机牵引效率
$i_s$ ——中央传动传动比	$\eta_o$ ——滑转效率
$i_m$ ——最终传动传动比	$\eta_f$ ——滚动效率
$i_x$ ——行星转向机构传动比	$\eta_q$ ——履带啮合效率
$i_d$ ——胶带传动传动比	$\eta_T$ ——液压系统容积效率
$J$ ——转动惯量	$\lambda_0$ ——静态时整机质量在后轮上的分配系数
$k$ ——土壤比阻	$\sigma$ ——齿高变动系数、标准差、应力
$K_{\sigma}$ ——应力集中系数	$\sigma_w$ ——弯曲应力
$M$ ——力矩	$\sigma_f$ ——接触应力
$M_r$ ——制动器的制动力矩	$\sigma_c$ ——压应力
$M_T$ ——合成转向阻力矩	$\tau$ ——切应力
$M_{\varphi}$ ——附着力矩	$\varphi$ ——附着系数
	$\omega_{ob}$ ——发动机的标定角速度
	$\mu$ ——摩擦系数

## 增订说明

机械工程材料手册初版是1970年与读者见面的,1971年重印,1977年修订再版。由于工业材料的品种、规格、型号日益增多,国家标准和部颁标准也有相应的修改增删,为此,特进行第三版修订。这次修订,全面核实查对了国家标准和部颁标准,增补了新的材料品种、规格。考虑到广大科技工作者和企业管理干部学习和掌握工程材料的需要,对于各类材料的基本特征、分类方法、质量指标涵义、材料的成分、性能、应用范围及有关数据等方面作了适当的补充。对正在试制或试生产尚未标准化的某些新产品暂未列入。

这次修订力求做到简明扼要,数据完整可靠切合实用。为使用方便,分上下两册出版。上册包括第一篇黑色金属材料;第二篇有色金属材料。下册包括第三篇非金属材料;第四篇五金电气材料;第五篇电线电缆材料及附录。

这次修订工作得到本厂领导同志的热情支持,并承有关兄弟单位的大力协助,在此谨致以诚挚的谢意。由于水平所限,经验不足,书中难免存在缺点和错误,希望读者批评指正。

第一汽车制造厂设备修造分厂编写组

1979.7.

## 第2版前言

本书自1981年9月出版以来，由于比较适合教学需要，得到一定好评，于1987年获得原国家机械工业委员会颁发的优秀教材二等奖；在1986年被日本北海道大学译作教学参考书出版。由于技术的发展，9年后，我们感到有必要更新完善原有内容，删减占篇幅过多的表格，增添现代设计方法中的“有限寿命设计”，“载荷谱”、“可靠性设计”“优化设计”在拖拉机设计中应用的内容，增加了国外先进技术的一些新资料，删减了一些零件的简单受力分析和计算；在编写中，努力贯彻少而精和理论联系实际的原则。

本书的基本内容包括拖拉机整机设计、各部件方案分析评价、部件主要参数的确定，以及某些主要零件的设计计算。

本书仍由吉林工业大学程悦荪教授主编，并编写了第一章、第四章和§2-1、§5-2；秦维谦教授编写了第六章；吕栗樵副教授编写了第三章和第二章§2-4~§2-8；郑联珠副教授编写了第七章及§2-3、§5-1；宫福昌副教授编写了§2-2、§2-10，张志伟讲师编写了§2-9。全书承江苏工学院林世裕教授再一次担任主审，提出了许多中肯、宝贵的意见，编者在此谨表示诚挚的谢意。

由于编者水平所限，书中错漏之处在所难免，诚恳地欢迎读者来信批评指正，来信请寄长春130025吉林工业大学拖拉机教研室。

编者

1990年6月

# 目 录

## 主要符号表

第一章 拖拉机设计总论	1
§1-1 对拖拉机设计的要求	1
一、使用方面对拖拉机设计的要求	1
二、制造方面对拖拉机设计的要求	2
§1-2 拖拉机设计技术的发展	3
一、经验设计阶段	3
二、科学试验和技术分析为依据的设计阶段	4
三、电子计算机辅助设计(CAD)和自动设计(AD)阶段	4
§1-3 拖拉机的设计程序	5
§1-4 拖拉机的总体设计	6
一、总体设计的任务	6
二、拖拉机型式的选择	8
三、拖拉机整机参数的确定	11
§1-5 拖拉机的总布置	15
一、轮式拖拉机(两轮驱动)的总布置	15
二、四轮驱动拖拉机的总布置	18
三、履带拖拉机的总布置	22
第二章 传动系	24
§2-1 传动系设计概述	24
一、传动系的功用、类型及对其的要求	24
二、机械传动系的组成和布置	24
三、机械式传动系设计应考虑的主要问题	25
四、机械式传动系的总传动比及其在各部件中的分配	28
五、传动系的载荷和载荷谱	29
六、机械传动系的计算载荷	30
§2-2 离合器	32
一、离合器的功用、类型及对其的要求	32
二、离合器主要参数的确定	38
三、离合器的接合过程和滑磨功验算	39
四、影响离合器实际压紧力的因素	41
五、离合器主要零件的计算和结构设计	42
六、杠杆压紧式离合器的工作特点	52
七、湿式离合器的工作特点	56

八、离合器的操纵机构	57
§2-3 联轴节	59
一、联轴节的功用、类型及对其的要求	59
二、弹性联轴节	59
三、十字轴万向节	61
四、等速万向节	64
五、传动轴临界转速及尺寸的确定	66
§2-4 挂结式换档变速箱	67
一、变速箱的功用、类型及对其的要求	67
二、挂结式换档变速箱的传动方案	68
三、变速箱主要参数的确定	77
四、圆柱齿轮的结构与计算	80
五、轴、轴承、啮合套和同步器	82
六、挂结式换档变速箱的操纵机构	90
七、变速箱的结构设计	90
§2-5 摩擦式换档变速箱	92
一、摩擦式换档变速箱的工作原理和类型	92
二、定轴传动的摩擦式换档变速箱	93
三、行星机构设计中的一般问题	96
四、行星传动的摩擦式换档变速箱	102
五、自由轮的结构与计算	108
六、换档摩擦元件及其液压操纵	110
§2-6 中央传动	113
一、中央传动的功用、类型及对其的要求	113
二、中央传动的结构与支承	114
三、锥齿轮的设计和计算	117
四、锥齿轮的受力分析	126
§2-7 差速器	127
一、差速器的功用和类型	127
二、齿轮差速器	127
三、自由轮差速器	134
四、差速锁的结构与布置方案	136
§2-8 履带拖拉机转向机构	138
一、履带拖拉机转向机构的功用、类型和设计要求	138
二、转向离合器	139
三、单级行星转向机构	146
四、双差速器	148
五、行星差速式转向机构	149

§2-9 最终传动	150	§5-2 履带拖拉机行走系	227
一、最终传动的功用、结构及对其的要求	150	一、履带拖拉机行走系的分类和设计	227
二、最终传动主要参数的确定	155	二、整体台车架的悬架	228
三、最终传动主要零件的计算特点及结构设计	156	三、履带行走装置	234
四、驱动轴的计算	158	四、履带行走系的结构布置	240
§2-10 动力输出轴及皮带轮	159	<b>第六章 液压悬挂装置</b>	242
一、动力输出轴	159	§6-1 概述	242
二、动力输出皮带轮	164	一、液压悬挂装置的功用及其要求	242
<b>第三章 轮式拖拉机转向系</b>	166	二、农机具在拖拉机上的挂接	243
§3-1 轮式拖拉机转向系概述	166	§6-2 农机具耕作深度的控制	244
一、转向系的功用和类型	166	一、耕作深度的控制方法	244
二、对转向系的设计要求	166	二、控制方法对驱动轮增重力的影响	249
三、转向系角传动比	167	§6-3 悬挂机构	252
四、转向系的计算载荷	168	一、对悬挂机构的要求	253
§3-2 机械转向器	170	二、纵向瞬心	253
一、机械转向器类型的选择	170	三、水平瞬心	256
二、球面蜗杆滚轮式转向器	171	四、杆件尺寸的确定	256
三、循环球式转向器	173	五、悬挂机构的运动分析和受力分析	259
四、曲柄指销式转向器	176	§6-4 液压系统	265
§3-3 转向传动机构	178	一、对液压系统的要求	265
一、转向梯形机构	178	二、液压系统的分类和基本油路	265
二、双纵拉杆机构	182	三、几种典型的液压系统	269
三、转向传动机构的强度验算	185	四、液压系统主要参数的确定	271
§3-4 液压转向系	185	五、主要液压元件	273
一、液压助力转向系	185	§6-5 操纵机构	277
二、静液压转向系	190	一、对操纵机构的要求	278
<b>第四章 制动系</b>	192	二、操纵机构的类型	279
§4-1 制动器	192	三、操纵机构的运动分析	281
一、制动器的工作情况和设计要求	192	四、阻力控制的传感	284
二、带式制动器	194	<b>第七章 驾驶座与驾驶室</b>	294
三、蹄式制动器	196	§7-1 驾驶座	294
四、盘式制动器	199	一、概述	294
§4-2 制动操纵系统	204	二、驾驶座悬架系统设计	297
一、机械式人力操纵	204	三、驾驶座椅的结构设计	302
二、液压式人力操纵	204	四、座垫和靠背设计	303
三、液压式动力操纵	204	§7-2 驾驶室	303
四、气压式动力操纵	206	一、概述	303
<b>第五章 行走系</b>	210	二、隔振和隔声设计	303
§5-1 轮式拖拉机行走系	210	三、翻车防护装置	306
一、车轮	210	四、通风和温度调节	308
二、前桥	213	<b>参考文献</b>	310

# 第一章 拖拉机设计总论

## §1-1 对拖拉机设计的要求

农业是国民经济的基础，农业现代化离不开农业机械化，拖拉机是农业机械化的主要机械。最早的拖拉机只是代替畜力拖曳农机具，那时对拖拉机的要求很低。随着技术发展，对拖拉机不断提出了新的要求，不仅能带牵引农机具，还要能带悬挂农机具，而且能输出旋转动力。从作业种类上，由耕、耙、播扩大到收获、中耕、栽植、喷雾、打捆、运输等多个方面，并且对作业的质量（如耕深均匀性）、和驾驶轻便性、安全性等提出了新的要求，这样对拖拉机设计也必然提出了更高的要求；从拖拉机的使用来看，已越出了农业拖拉机的范畴。

在对拖拉机设计提出的众多要求中，可概括为使用和制造两方面的要求，制造是为了使用，因此，从根本上说，首先应该是满足使用需要，即具有良好的使用性能。在“拖拉机理论”课程中，已经较详细地阐述了使用性能，从各个单项性能提出了定性的要求，而从“拖拉机设计”课程来讨论这些性能要求时，要综合考虑各项使用性能之间的矛盾，最后确定一个能照顾各方面的方案，并从定性分析转入具体的定量设计。

### 一、使用方面对拖拉机设计的要求

下面就已学过的使用性能稍作补充说明。

#### （一）农业技术性能

它反映拖拉机对农业要求的适应性，包括：

- 1) 牵引附着性能。
- 2) 通过性，包括潮湿松软土壤通过性，行间通过性和障碍通过性。
- 3) 操纵性，它是按驾驶员意愿，沿任意路线行驶的能力，包括最小转向半径。
- 4) 对土壤结构的破坏性。

#### （二）技术经济性

它反映拖拉机使用的经济效果，包括：

- 1) 生产率，其影响因素有挂钩功率、牵引力、速度、档位配置、耕深控制方式、动力输出轴的类型以及农机具挂接方便性等。
- 2) 经济性，包括燃油消耗率、机油消耗率、维护修理费用和综合利用情况(年利用率)等。

#### （三）一般技术性能

##### 1. 可靠性和耐久性

耐久性是主要零部件的寿命；可靠性是指在规定的寿命期间内，正常工作不发生故障的概率，具体用一定期间中的故障出现次数、种类及其严重程度来衡量。目前用来进行产品评比的最普遍应用的指标是平均无故障间隔时间MTBF (Mean Time Between Failure)，目前，MTBF能达到300h，就可认为是国内先进水平了，显然这个指标是与故障的定义相联系的。可靠性实际上也可作为技术经济性的一项指标，农业季节性很强，耽误了农时损失极大，在



用户心目中，“可靠不坏”具有头等重要的意义，如果可靠性差，即使其它性能再好也不受欢迎。

### 2. 工作安全性

它包括稳定性、翻车后的防护措施以及制动性能（制动距离和制动不跑偏）。

### 3. 劳动保护性

它包括乘坐平顺性和舒适性，低耳旁噪声，操作轻便性（操纵力的大小和操纵行程、操作频繁程度、视野、驾驶室的防风雨、防日晒、防灰尘、防废气、防寒、防高温性能以及清除泥污、挂接农机具、维修保养的方便程度）。

以上列举了从各个使用角度提出的要求，这些要求常常相互矛盾，例如为了中耕要提高离地间隙，但势必降低稳定性；增加附着质量可以增加附着力，却会因此而压实土壤、影响作物的产量。不同的地区（水田、旱田）、不同的地块大小和不同的比阻、不同的作业方式（犁耕、旋耕、复合作业）、不同的主要作业（农田作业为主还是运输为主）、不同的经营规模和是否还配置有其它拖拉机等因素，都会影响对拖拉机的要求。因此，设计者要通过多种途径，广泛了解所设计拖拉机拟销售地区的情况和用户的需要，分清主次要求，对主要要求应设法尽量满足，对次要的要求则给以适当考虑。

## 二、制造方面对拖拉机设计的要求

设计时不能只考虑使用要求，还必须考虑制造方面的要求，拖拉机是结构相当复杂的机械，生产规模如果不大，成本势必很高。因此，国内外的拖拉机都是大量生产（为满足用户专门定货而特制的属于例外），年产万台以上，才能大幅度降低成本，国外有的工厂年产在10万台以上。由于使用者的需求不同，工厂就不能只图省事，只生产单一型号的拖拉机，而是要根据用户的需要，迎合市场的需求，生产多种拖拉机。

在商品市场上若要有竞争力，除改善产品性能、提高产品质量外，还须努力降低制造成本以降低价格。为此，在设计的全过程中，要从结构方案的选择、材料的选用、改进加工工艺、减少废品率等多方面考虑降低成本。目前，价值工程在设计中越来越受到重视。即使是已大量生产的产品，也有很多潜力可挖。例如某拖拉机的牵引销是个端部带凸缘的轴，直径为24mm，而凸缘部分的直径为32mm，原先用 $\phi 32\text{mm}$ 的整块钢料车削制成，材料利用率很低并费工时，改用两段焊接而成的结构后，明显降低了成本。又如发动机罩、挡泥板、油箱等构件，都由钢板冲压，适当改变其中某些件的形状，通过合理排版拼裁，就可以提高钢板的利用率。又如手扶拖拉机的扶手架，为了光滑美观，原来多用无缝钢管，现在有了外表光滑、焊缝在管内的有缝钢管，用以代替无缝钢管，从而显著降低了成本。

在设计工作中贯彻“三化”是国内外用以改进产品质量、降低制造成本的有效措施，所谓“三化”，即“产品系列化、零部件通用化、零件设计标准化”。

产品系列化是用较少种类的部件，组装出较多型号的、形成系列的多种拖拉机。如发动机每缸的主要参数和结构相同，采用改变缸数（单缸、双缸、三缸、四缸、六缸）、改变标定转速以及采用增压、增压中冷等方法，可得到一系列不同功率的发动机。改变传动系的少数部件（如离合器）和少数齿轮，再改变轮胎并配以不同功率的发动机，就可得到一系列拖拉机，这种系列常称为纵向系列。另外，也可以以一种需求量较大的机型为基型（例如36.8kW的两轮驱动拖拉机），生产出四轮驱动、高地隙、棉田、葡萄园、坡地用多种功率相同的拖拉机，这种变型常称为横向系族（或横向系列）。

零部件通用化就是在不同机型上,采用同样的零件或部件。例如29.5、36.8、44.2kW的三种拖拉机采用同一传动箱壳体;在44.2kW拖拉机的前桥驱动中,采用14.7kW拖拉机后桥的中央传动和差速器等。零部件通用化可使部件、零件的种类大为减少,可以减少工装设备、降低成本,还便于为修理准备配件。在实行零部件通用时,要注意恰当、合理。如果过分强调通用,在载荷、功率或其它要求差别悬殊的不同机型上勉强采用同一部件,那也是不合理的。现在大量生产的机械,如汽车、拖拉机都逐渐向专业化生产发展,如发动机、喷油泵、喷油嘴、散热器、转向器、制动器、离合器都逐渐转由专门工厂生产。这种分工使这些专业厂得以专心改进这些部件,从技术上、设备上都比由总装厂本厂生产有利。这些专业厂不仅是一个或几个拖拉机厂服务、还可为汽车厂、工程机械厂、农业机械厂服务,其产品也必然是按一定规格的系列产品。因此,拖拉机设计者就应尽量采用专业化工厂所能提供的系列产品,尽量避免特殊规格的定购。

零件设计的标准化也很重要,首先是螺栓、螺母等标准件必须遵循国家、行业标准。但是国家标准允用的型号、尺寸种类繁多,各厂还必须从中选择一部分作为本厂的标准,例如,相近的材料如40、45钢统一只用其中一种,同样直径的螺栓长度尽量统一为少数几种长度,这样既便于生产和储备,也避免装配时发生混淆。工艺方法(如热处理方法)最好也统一。

“三化”的范围,不仅只限于拖拉机各个型号之间,还可和其他相近行业之间实现零部件通用化,如离合器、转向器、差速器、自锁差速器、同步器很容易与汽车行业通用;而履带板、支重轮、液力变矩器、液压系统的元件则容易与工程机械行业实现通用。另外,拖拉机厂也可以自己产品的零部件为基础,生产其它产品。如洛阳第一拖拉机厂利用东方红-75型履带拖拉机的发动机、离合器、变速箱、中央传动、最终传动等主要部件,重新布置,并增加了少量新的部件,生产出东方YZ-10型轮式震动压路机,由于拖拉机零部件是大量生产的,其成本明显低于小批量生产的工程机械的成本,因而该机在销售价格上具有明显优势。

在不断改进拖拉机产品、更新型号的过程中,设计者会经常遇到结构改进和如何利用原有工装设备这一矛盾。由于拖拉机的大部分零件,尤其是复杂零件大都是在专用机床上加工的,如果能够尽量利用原有设备,就可减少大量投资,并可缩短成批生产前的工装准备时间,但这样势必带来结构不能大改这样一个守旧的因素,如果过分看重原有设备的利用,有可能导致产品几十年不变的消极结果。因此,对于一个拖拉机厂,产品发展的合理过程应该是小改和大改相结合,在进行多次小改以后,下决心进行一次大的结构变化。

综上所述,拖拉机设计所要考虑的问题很多,需要多方面的知识。为了解决各种矛盾,必须明确设计的指导思想,提出某台(或某系列)拖拉机的设计准则,如产品设计方针、主要技术经济指标(包括技术先进性、工艺性、继承性、产品成本、通用化要求等)。设计者应该用系统的观点,合理处理不同要求带来的矛盾,使整机的设计达到最优化。

## §1-2 拖拉机设计技术的发展

拖拉机设计技术的发展,大体可分为三个阶段:经验设计阶段、以科学试验和技术分析为依据的设计阶段以及计算机辅助设计(CAD)和自动设计(AD)阶段。

### 一、经验设计阶段

早期的设计是以已有的经验数据为依据,运用一些来自统计的经验(或半经验)的粗糙公

式来决定结构和尺寸。这样的设计由于缺乏科学、细致的计算方法，也由于缺乏准确的试验数据，所以实际情况和设计者的预估往往有较大的出入。样机制成后才能进行整机试验以考核整机性能和各部件的强度，试验过程中常由于意想不到的各种损坏而停顿，等待修改设计、试制直至重新试验。产品从开始设计到定型投产的周期很长，这主要由于整个过程中的盲目性较大，全靠试验暴露问题，再设法解决。其实，所进行的试验只能发现强度不足这一问题，至于强度过大、浪费材料的另一方面的问题则不能暴露，甚至误作为成功的经验而被此后的经验设计法所肯定而加以引用。

## 二、科学试验和技术分析为依据的设计阶段

这阶段从50年代就已经开始。在设计之前，已掌握了较充分的科学数据，计算的结果比较接近实际；在设计过程中，进行了局部的试验，这就减少了设计的盲目性，提高了设计成功的把握。

非电量的电测量对设计技术的发展起了重大作用，利用它可以比较准确地掌握拖拉机各部分在各种工况下的受载情况，为确定载荷和载荷谱提供了手段。脆漆法和光弹法等其它技术的应用，可以迅速判断零件的应力分布，可以在整机试验之前，及时修改设计，既可在整机试验出现损坏以前，着手加强薄弱环节，也可以及时改掉过于笨重的结构。根据已有拖拉机在类似工况下的载荷谱，根据材料科学提供的日益丰富的强度和疲劳寿命方面的数据，将随机过程、概率统计方法应用于设计，加上疲劳累积损伤理论的发展和断口分析技术的应用，使人们能够较精确地预估零件的强度、寿命和可靠度。

在此期间，动态分析已开始在设计过程中得到应用，人们不再局限于用静力学取脱离体的方法分析受力情况，而是从振动的角度分析各种不同频率的载荷造成系统的不同动载荷，使结果更接近实际情况。利用动态分析，可改变系统参数，以降低载荷、应力和噪声，使设计技术有了进一步提高。模态分析等理论的研究和专用数据处理机的出现，为动态设计提供了物质条件。

加大载荷的强化试验和非强化试验结果的对应关系已逐渐为人们所掌握，通过强化试验可使试验时间缩短为正常试验时间的10%~20%，从而有效地缩短了研制周期。

## 三、电子计算机辅助设计(CAD)和自动设计(AD)阶段

电子计算机的应用使设计方法大踏步前进，它又可分为三个阶段：

### 1. 电子计算机被用于工程计算和技术分析阶段

利用计算机计算速度快、容量大的特点，可以进行过去人工计算不可能的一些复杂计算，可以减少过去限于计算能力而被迫进行简化所带来的误差，过去有些用解析法难于求解的难题，通过电子计算机用数值方法可很容易解决。利用有限单元法可以进行机架、壳体、驾驶室等零件的计算。电子计算机还可用于计算机模拟仿真，即在建立了正确的数学模型，通过少数次的试验取得一些实际数据（也可利用前人已有的数据）以后，就可以用计算机模拟实际工况，用来研究振动、翻倾以及控制系统的灵敏度、零件的动态载荷等等，这样就可以在广阔范围内取代传统的那种先造成实物，再逐个进行实地试验的费钱、费时的方法。对于计算机模拟仿真，改变参数非常容易，并且容易通过多种情况的计算对比，找出最有利的方案。如果为了使结果更为可信，可按照模拟仿真结果再进行一次实物试验。计算机的高速运算性能使多种方案的分析对比和优化设计成为可能，它不但可用于数值计算，还可用于逻辑分析，按照给定的综合评价指标选择出最优方案。

## 2. 计算机辅助设计阶段

从广义来看,前面的第一阶段也是计算机辅助设计。第二阶段不同于第一阶段的是在人-机联系上有较大改进,计算机的辅助设计能力有所加强。配有光笔、数字化仪、绘图机等外围设备的计算机,能更好地使人的创造思维能力和计算机的高速计算能力、逻辑判断能力相结合,这时的设计过程是,在设计者给出设计模型,给定已知条件之后,计算机就在机内的存储量很大的数据库中进行检索,找到各个必要的数据库,按指定的一系列公式进行计算(或优化设计),打印出计算结果,并将结果直接绘成结构图,如果有必要,设计中途也可用光笔或通过人机对话方式对计算结果和图形进行修改。

## 3. 自动设计阶段

对于某些能用明确的目标函数予以定量描述的设计任务,在设计过程中无需人机对话,计算机可按给定的优化程序进行计算和绘图。

由于设计工作实际受很多因素约束,设计目标也大都不是能用一个明确的目标函数所能准确表达的,因此自动设计所适用的范围有限,CAD比AD更有实用价值。计算机的应用把设计人员从繁琐的计算和绘图工作中解脱出来,使他们能有更多时间进行创造性思维。

# §1-3 拖拉机的设计程序

拖拉机产品设计是一项复杂的工作,它具有一定的规律,设计工作必须按科学的程序进行,才能减少失误和返工。它可分为四个阶段。

## 一、制定设计技术任务书

工厂在了解各地、各部门所用拖拉机的作业情况和今后社会需求的基础上,根据市场需要和本厂生产条件和发展方向,将设计任务布置给设计部门。设计人员通过进一步深入调查研究,广泛了解各地使用、修理和制造部门的意见,在确认有必要设计和制造这一种拖拉机以后,将设计目的和具体要求细化:包括所设计机型的主要使用地区、主要用途、技术经济指标、生产纲领、生产方式、原料及燃料供应条件、国家对拖拉机的政策和系列化型谱等。

在上述基础上制定设计技术任务书,设计技术任务书是指导整个设计的根本性重要文件,制定过程要认真细致、实事求是,一经批准,就不应随意修改。

## 二、图纸设计

图纸设计又可分为方案设计、部件设计、零件设计和编制技术文件等阶段。实际设计时,这些阶段有时交错进行,并不一定是截然分前后进行的。

方案设计阶段中,要绘制总布置草图、初步安排各部件的相互位置,估计拖拉机的性能指标,绘制各部件的结构草图等。这一阶段一般应进行多方案设计,选取最佳方案,作为下一步部件设计的基础。

部件设计是方案设计的具体化,在这一阶段,要细致解决部件与部件之间、部件与总体之间的协调和连接问题,绘制所有部件图和整机总图,进行整机参数和性能的计算,部件参数和性能的计算以及主要零件的强度、刚度计算。

零件设计阶段应绘制全部零件图、组件图,进行必要的尺寸链计算,编制零件清单(按自制件、标准件、外协件分列清单)。最后,按零件图尺寸,在图面上进行装配,绘制正式的部件图和整机总装配图,通过图面装配,进一步校对图纸上可能存在的错误。

编制的技术文件通常包括：部件与整机的装配技术要求与试验要求、设计计算说明书、使用保养说明书、备件目录等。后三项也可在以后阶段编制。

在图纸设计阶段，有时要做一些局部试验，以验证所用参数的合理性。

### 三、样机试制

样机试制将图纸转为实物，通过试制考核设计图纸的正确性和完整性。试制以单件生产方式进行，一般只生产3~5台。试制样机的质量必须完全符合图纸要求。如果样机本身就是不合格品，则在试验中出现故障时就无法判断是否是属于设计不合理所造成的。

### 四、样机试验鉴定

样机试验鉴定是设计工作的最后阶段。只有通过长期（如700h）典型田间工况的试验，才能最终判定所设计的产品是否达到预期的目标。试验前要对样机进行一般性的技术检查。在检查合格以后，依次进行试运转、性能试验（整机参数测定、牵引试验等）和长期生产使用试验，在长期试验中要详细记录各种作业种类、配套农机具、负荷程度和作业时间，并记录试验期间的故障情况和换件情况。全部试验结束后，进行技术鉴定，查明整机性能的变化情况，拆开检查零件的磨损、松动、裂纹等不正常情况。最后根据试验和技术鉴定结果得出结论性意见或改进措施。在由专业队伍进行长期使用试验的同时，还常将数台样机交给有经验的用户使用，以便考察样机在一般用户使用时的性能和问题，用户应提交使用报告作为鉴定必备文件。

实际上，有时要根据具体情况对上述程序作适当变动。如果第一轮设计完成后，发现问题较大，就要进行第二轮甚至第三轮设计，直至样机通过鉴定，并得到主管部门的批准后，方可进行批量生产。

## §1-4 拖拉机的总体设计

### 一、总体设计的任务

从本章§1-1“对拖拉机设计的要求”中可知，对拖拉机的要求不仅很多，而且其中有些要求又彼此矛盾。这样，在设计中必须对各种要求加以分析，分清主次地位，对主要要求应尽量给予满足，对次要的要求则有时只能给予适当满足，甚至不予满足，这就需要统筹兼顾、统一协调，使整机性能达到最优。

另外，拖拉机总是由很多人来共同设计的，如果没有统一的约束，各部件设计者各行其是，则即使各部件设计得都很好，装配在一起却不能获得良好的整机性能。因此，设计工作必须有一个指挥中心，总体设计工作就应是这个指挥中心，它使整台拖拉机的各部分设计相互协调，保证设计方针的贯彻，使设计目标得以实现。

整机的设计目标是工厂根据市场需求和技术发展趋势，按照国家和行业产品发展规划所确定的产品分工范围而制定的。据此确定了所设计拖拉机的设计方针和主要技术经济指标，其中包括产品的用途、型式、整机性能指标、制造成本、生产纲领等。

总体设计的主要任务如下。

#### （一）制定设计原则和总体方案评比

总体设计人员在明确了设计方针并经过深入调查（使用调查、生产调查、参考样机性能调查等）和分析研究后，着手制定此产品的设计原则。设计原则应包括：

1) 对主要技术经济指标提出要求。这除了包括对功率、牵引力、速度、燃油消耗率、单位功率比质(重)量提出要求外,还应包括对技术先进性、工艺性、继承性、生产成本和零部件通用化程度提出的要求。

2) 考虑可能发展的变型品种。

3) 考虑各种使用和制造要求的主次地位。例如为适应个体农户需要的小型拖拉机,价廉和能作多种用途是首先考虑的,而生产率和舒适性可放在次要地位。对于用于大型农场开荒或耕作的拖拉机,则应优先考虑生产率和操纵轻便性。

在确定设计原则的过程中,要酝酿各种设计方案,进行功能和成本的分析对比,画出多种总体方案图,经过方案评比选出最好的几种,进行更深入的分析,最后确定总体方案,初步完成选型工作。

## (二) 绘制总布置草图和编制设计技术任务书

在确定总体方案以后,就进入以总布置草图设计为主体的深入选型和确定尺寸、参数阶段。总布置草图和总体方案图不同,在此图上对各参数和尺寸的要求应详细和准确,对各部件的尺寸以及相互位置作较具体的估计,在此基础上较准确地确定轴距、轮距、质心高度、离地间隙。总布置草图阶段是进一步落实总体方案和暴露矛盾的过程,有时还会发现总体方案中有些指标不合理,需要加以调整。

在完成总布置草图以后,就可编写设计技术任务书,实际上是把前一阶段的工作用书面文件的形式明确下来,以便作为此后设计、试验和工艺准备的指导依据。设计技术任务书是正式文件,经批准以后,在设计过程中不得随意更动。

设计技术任务书应包括下述内容:

- 1) 设计任务的来源和设计必要性的论证。
- 2) 拖拉机的用途和工作条件(土壤比阻、地形、气候、作物种类、耕作制度、对配套农机具的设想等)。
- 3) 拖拉机的设计指导原则。
- 4) 拖拉机的整机参数、布置形式、尺寸和质(重)量指标等。
- 5) 各部件的基本型式及主要参数。
- 6) 国内外同类型拖拉机的主要性能指标比较、发展趋势和动向,对市场上现有拖拉机型号的竞争能力。
- 7) 本机拟采用的新结构、新技术、新材料和新工艺。
- 8) 对配套农机具的方案设想。
- 9) 系列化和变型设想,今后改型的潜力,零部件的通用化情况。
- 10) 生产纲领、生产方式、所需增添的设备。
- 11) 预期投资、制造成本和产品的技术经济分析。

## (三) 配合各部件技术设计绘制尺寸控制图

此阶段的主要工作是绘制1:1或1:2的尺寸控制图。在总布置草图和各部件进行了初步设计的基础上,给定各部件的控制尺寸和控制质(重)量,具体细致地确定各部件所在的位置和连接固定方式。对有相对位移的零部件,为了防止运动干涉和留出运动空间,要绘制运动校核图。

在绘制尺寸控制图的过程中,各个部件的设计也进一步深入,往往会发现总体设计原先

所规定的的数据在部件设计中难以达到,总体设计人员应与部件设计人员一起对各部件的方案、尺寸进行研究,如确有困难,则应修改所给控制指标,把修改后的指标画在尺寸控制图上,并及时通知其它部件的有关设计者,以便作必要的相应更改,可见尺寸控制图既指导各部件尺寸的确定,又接受部件设计的反馈信息,调整控制尺寸。在各部件总图初步完成之后,将这些部件图提供的尺寸作为依据,绘在总体控制图上,再进行一次准确的布置和运动校核,如果没有问题,即作为最终的控制尺寸。此后,各部件设计对其内部结构和参数的改变,只能在不变动控制尺寸的前提下进行。由上可知,尺寸控制图的绘制过程实际上是设计深入的过程中,发现矛盾、解决矛盾的过程,总体设计和部件设计人员都要不怕麻烦、反复修改、互相协调,以求得到最合理的结果。

#### (四) 绘制整机总装配图和编制有关技术文件

在各部件完成全部零件图和部件图之后,以部件图、零件图图纸上提供的尺寸为依据绘制整机总装配图,目的是在图面上进行装配,检查有无错误,核算拖拉机整机的主要尺寸和尺寸链。接着可以编制有关技术文件(如设计计算说明书中的整机性能计算部分,装配要求,试验大纲等)。

#### (五) 参加试制、试验和修改定型工作

在全部图纸(整机总装配图、部件图、零件图)都完成以后,设计就转入了试制阶段。这是对设计质量的一次检验,一般来说,总会或多或少的有一些错误需要修改。在试制装配完成以后进行的试验过程中,也会暴露出设计时分析判断错误或考虑不周的问题,需要进行分析和改进。总体设计人员如果亲身参加这些实践,通过切身感受,就能提出更好的合理的改进构思。一般而言,一台新设计的拖拉机总要经过2~3轮的设计、试制、试验,改进设计的过程。直至正式投产,总体设计才算完成。

## 二、拖拉机型式的选择

选择拖拉机结构类型时应考虑的因素是:使用地区的自然条件、作业项目和作业要求、用户对现有拖拉机的反映,制造的技术难度、制造能力、制造成本、用户的购买力、市场的需求量、同类产品的竞争能力、使用人员的技术水平等。各种型式拖拉机的一般优缺点如下。

### (一) 轮式拖拉机

轮式拖拉机一般是指具有四个轮子的拖拉机(三轮拖拉机已极少生产;手扶拖拉机尽管也是轮式,但通常把它另列一类,不算轮式拖拉机)。

轮式拖拉机大部分是两轮驱动,从全世界来说,其产量和保有量都远远超过其它类型。布置特点是驱动轮在后,其直径较大,质心布置偏后,适应性广,可用于完成多种农田作业和运输。这种类型拖拉机的综合利用程度高,在一般地区,其性能已可满足使用需要,但在潮湿、粘重的土壤上,则牵引性能和通过性有所不足。由于我国目前农村分散经营的体制,使得8.8~13.2kW的小型拖拉机产量占绝对统治地位,但因功率小、生产率不高、耕深也较浅,因而有逐渐向较大功率拖拉机的方向发展的趋势。

两轮驱动中有一种发动机布置在驱动轮之后,将前、后轮之间的空间腾出来用以布置农机具或货台的,称为自动底盘。它用于中耕和其它行间管理作业时,驾驶员便于观察农机具、伤苗率可减小,运输货物可不必再加挂车,只需装一货台,但因货台面积不可能太大,运输工作时的生产率不及带挂车的拖拉机。如用于犁耕,偏牵引较一般两轮驱动拖拉机严重。在空车或牵引作业时,前轮承载较小,影响纵向稳定性和操纵性,因此综合利用性差而较少应

用。

四轮驱动拖拉机提高了牵引性能和通过性，它有前、后轮尺寸不同和尺寸相同的两种。前者就是把两轮驱动拖拉机的从动前桥改为驱动桥，是一种变型，与原两轮驱动拖拉机的零部件通用化程度高，但成本也将增加30%~40%；由于前驱动轮的附着载荷不很大，前轮也较小，所以性能提高也有限。前、后轮尺寸相同的四轮驱动是专门设计的独立型，质心略偏前，工作时四个轮子的附着载荷基本相等，都能很好发挥驱动力，具有更好的牵引性能和通过性，但结构复杂，且需求量较少，制造成本更高。四轮驱动拖拉机在一般情况下能承担各种沉重的作业。

### (二) 履带拖拉机

履带拖拉机附着力大，滑转损失小，接地比压低，即使在潮湿、松软的土壤上仍具有良好的牵引性能和通过性。它适宜于开荒、耕地等沉重的田间作业和推土、铲运等土方作业。由于质心低，附着系数大，不易翻倾和下滑，因而在坡地工作时性能也很好。由于转向半径小，机动性好，所以也用于园艺作业。履带轴距一般不能调节，故对不同行距作物进行耕作的适应性较差。履带拖拉机的综合利用性较差，尤其因速度低和破坏路面而不宜用于运输。它消耗金属多，制造和使用成本均高于轮式，因此一般只用于沉重作业。

### (三) 手扶拖拉机

手扶拖拉机结构简单，制造容易，消耗金属少，造价低廉，维修容易，使用技术要求不高，灵活机动，特别适合于小块地（水田、坡地、梯田、菜地、果园、温室等）。但功率较小，生产率低，劳动条件差，一般只适于较轻负荷的作业。

手扶拖拉机又可按其主要用途是带牵引农具还是带旋耕农具而分为牵引型、驱动型和牵引驱动型。它们质心的前后位置各有不同，这三种功率一般在6~9kW范围内。近来，又出现功率更小（2.2~3.7kW）的手扶拖拉机（耕整机），它往往和插秧机等农具通用动力，在插秧以外的季节，就在水田中承担犁田或耙田工作，它的驱动轮是单轮前置，后面有个支承用的滑橇板，结构非常简单。有的手扶拖拉机没有变速箱，只是用改换三角胶带在不同直径的胶带轮上的位置来改变速度。耕整机结构质量很小（100kg左右），拆装、搬运方便。

### (四) 船形拖拉机（机耕船）

机耕船是我国为水田耕作创制的一种新机型，特别适合在深泥脚的水田中工作，解决了一般拖拉机在深泥脚水田中下陷过深无法工作的矛盾。机耕船的大部分机体重量由船体传至表层土壤承受，由于船底面积很大，接地压力很低，一般仅为3~8kPa；驱动轮和船底之间的相对高度可以调节，以便根据泥脚深度调节驱动轮，使其刚好插入较硬的底层土壤，以便发挥驱动力，避免插入过深引起过大的驱动轮滚动阻力并破坏土壤硬底层。但在土表无水或少水的情况下，船底与土壤之间的摩擦系数可增大到0.6~0.7而使牵引效率急剧降低；影响机耕船发展的一个重要因素是综合利用性较差。然而，对深泥脚水田来说，机耕船仍是最有效的机械。

为了指导拖拉机工业的发展，国家根据农（林）业发展规划，在对农（林）业机械化发展预测和拖拉机需求预测的基础上，制定了1988~1995年拖拉机型谱。型谱规定了拖拉机品种、规格和技术、质量应达到的水平。型谱经原国家机械工业委员会批准，成为拖拉机行业产品技术发展的指导性文件，设计拖拉机时应尽量考虑和型谱一致。



制定型谱的目的是为了把各种品种、规格的拖拉机归纳成零部件通用程度较高的系列和系族,以较少的整机和零部件品种,最大限度地满足使用部门的需要。这样既有利于组织拖拉机多品种、大批量、专业化生产,便于提高产品质量,降低成本,也有利于组织配套农具的生产,还便于使用维修和配件供应。

在型谱中采用标定牵引力和发动机标定功率作为分级指标,共包含16个区段,其中农业拖拉机占12个区段;林业拖拉机占4个区段,见表1-1。

表1-1 1988~1995年拖拉机型谱各种类型所占区段数

类 型	农 业 用 拖 拉 机					林 业 用 拖 拉 机	
	耕整机	手 扶	船 式	轮 式	履带式	轮 式	履带式
区 段 个 数	1	3	2	5	1	3	1

在表1-2中列出了轮式拖拉机2个区段的型谱,从中可以看出,型谱不仅对牵引力、功率、档数、速度范围等技术经济指标和尺寸、质(重)量提出要求,还对噪声、可靠性、变型和配套发动机提出了要求,所考虑的因素比较全面,对新设计是很有指导意义的。以表1-2中的九区段为例,发动机功率是18~29kW,可选用二、三、四缸的7种发动机,标定牵引力是6~9kN,改为四轮驱动时则为8~12kN。后轮有3种不同尺寸,如加上水田轮则有8种;前轮3种,另有四轮驱动前轮3种。这样就可以得到一系列不同离地间隙、不同速度的拖拉机。

表1-2 1988~1995年农(林)业用拖拉机型谱(摘录)

区 段 序 号	农 业 用 拖 拉 机			
	八		九	
系列、基本型	轮式B系列		轮式C系列	
	4 × 2	4 × 4	4 × 2	4 × 4
标定牵引力/kN	4.0~6.0	5.0~8.0	6.0~9.0	8.0~12
发动机标定功率/kW	11~18		18~29	
动力输出轴功率/kW	10~16		16~26	
牵引比油耗/(kg·kW <sup>-1</sup> )	347		326	
结构比质量/(kg·kW <sup>-1</sup> )	70	80	65	75
噪 声	环境噪声/dB(A)		84	
	耳旁噪声/dB(A)		94(90)	
冷起动车性能/℃	-10		-10	
首次大修使用寿命/h	5000		5000	
平均无故障时间/h	260		260	
轮距调节范围/mm	900~1300		1100~1800	
离地间隙/mm	275~320	250~260	325~420	260~330
工作速度范围/(km·h <sup>-1</sup> )	2.0~24		2.5~28	