

拖拉机离合器接合过程仿真

侯瑞芬 曹正清

(中国农业大学车辆工程学院)

摘要 建立了拖拉机起步过程中机组、发动机、离合器和机组阻力矩的数学模型。在此基础上对离合器的接合过程进行了动态仿真,计算出离合器接合任意时刻的发动机角速度、离合器从动盘角速度、离合器摩擦力矩以及离合器接合过程的冲击度和滑摩功。

关键词 离合器; 接合过程; 仿真

分类号 S 219.032.1; TP 391.75

Simulation During the Clutch Engagement of the Tractor

Hou Ruifen Cao Zhengqing

(College of Vehicle Engineering, CAU)

Abstract The mathematical models of tractor set, engine, clutch and the moment of tractor set resistance during the tractor starting have been set up. The dynamical simulation of clutch engagement process has been done. The angular velocity of engine and clutch driven disc and the friction moment of clutch in any time when clutch is engaging, the impact factor and energy of sliding friction in the process of clutch engagement also have been computed.

Key words clutch; engagement; simulate

车辆的起步换挡品质与离合器的控制密切相关。由于电控机械式变速器通常采用干式离合器,故电控机械式变速器必须对离合器进行自动控制。由于离合器的工作过程比较复杂,它的操纵特性受车辆自身和环境条件的影响,因此在实行自动控制时必须首先研究离合器的接合规律。用计算机仿真,为寻求离合器的最佳接合规律打下基础。

1 拖拉机起步过程动态模型的建立

1.1 拖拉机起步过程

这里将起步时拖拉机的模型简化为发动机通过离合器同拖拉机连接起来的等效双质量系统,如图 1 所示。

由以上模型,可以建立如下方程^[1]:

$$\begin{cases} J_e \alpha_e = M_e - M_m \\ J_c \alpha_c = M_m - M_c \end{cases}$$

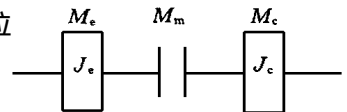


图 1 拖拉机等效双质量系统

其中: M_e, M_m, M_c 分别为发动机转矩、离合器摩擦力矩、机组阻力矩, N·m; J_e, J_c 分别为发动机和离合器的转动惯量, $\text{kg} \cdot \text{m}^2$; α_e, α_c 分别为发动机和离合器的角加速度, $\text{rad} \cdot \text{s}^{-2}$ 。

收稿日期: 1999-10-28

侯瑞芬, 北京清华东路 17 号 中国农业大学(东校区)43 信箱, 100083

1.2 发动机模型

离合器接合过程是在很短的时间内完成的, 此过程中发动机处于非稳定工况。为了模拟这种情况, 采用快速加载的方法, 测取此时柴油机的调速特性曲线^[2]。根据不同调速手柄位置下迅速改变柴油机的负载测得的发动机转矩与转速之间的关系曲线如图 2 所示。可以看出调速区段为线性区段, 非调速区段曲线为二次曲线; 因此, 发动机转矩与转速的关系采用如下方程来描述:

$$\left. \begin{aligned} M_e &= c_1 n_e^2 + c_2 n_e + c_3 && \text{非调速区段} \\ M_e &= c_4 n_e + c_5 && \text{调速区段} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

其中: $c_1 \sim c_5$ 为发动机调速特性曲线拟合因数, 对于不同的发动机调速手柄位置, 它们的取值不同; n_e 为发动机转速。

对于不同调速手柄位置, 非调速区段曲线不同, 因此, 拟合得到的因数 $c_1 \sim c_3$ 也不同, 为了使问题简化, 这里按照调速手柄置于最大位置时的曲线进行计算。对于调速特性区段, 不同调速手柄位置, 直线的斜率不同, 对应的调速率不同, 因此这里以调速率为基础计算 c_4 和 c_5 。

不同调速手柄位置的调速率用公式 (2) 表示

$$\delta_i = \frac{n_{mn} - n_{cn}}{n_{cn}} \quad (2)$$

其中: δ_i 表示不同调速手柄位置对应的调速率, %; n_{mn} 表示此种工况下柴油机最大转速, $r \cdot \text{min}^{-1}$; n_{cn} 表示调速特性区段与非调速特性区段柴油机特性曲线交点处的转速, $r \cdot \text{min}^{-1}$ 。

对应每一个不同的调速手柄位置, 都有相应的 n_{mn} 和 n_{cn} , 可以计算出相应的调速率, 即有一系列的点 $(n_{m1}, \delta_1), (n_{m2}, \delta_2), \dots, (n_{mn}, \delta_i), \dots$ 。对这些点用最小二乘法进行拟合, 可以得到如下公式

$$\delta_i = k_1 n_{mn}^2 + k_2 n_{mn} + k_3$$

其中 k_1, k_2, k_3 为调速率拟合因数。

由公式 (2) 得

$$n_{cn} = \frac{n_{mn}}{1 + \delta_i} = \psi_n n_{mn}$$

其中, $\psi_n = \frac{1}{1 + \delta_i}$ 。

将 n_{cn}, n_{mn} 代入方程组 (1), 并进行求解, 可以得到

$$\left. \begin{aligned} c_4 &= [c_1 (\psi_n \cdot n_{mn})^2 + c_2 (\psi_n \cdot n_{mn}) + c_3] / (\psi_n \cdot n_{mn} - n_{mn}) \\ c_5 &= -c_4 n_{mn} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

根据公式 (3), 只要给定某一调速手柄位置下对应的 n_{mn} 和 n_{cn} , 便可以计算出因数 c_4 和 c_5 , 从而得到调速手柄在这一位置时的调速特性曲线。

1.3 离合器模型

离合器分离时希望越快越好, 对起步品质影响极大的是离合器的接合过程。起步过程中发

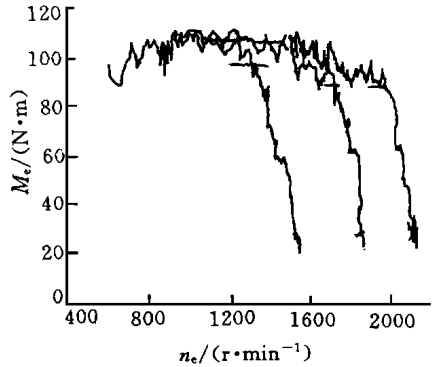


图 2 实验得到的发动机调速特性曲线

动机曲轴角速度 ω , 离合器传递的扭矩 M_m 以及离合器从动轴的角速度 ω_c 随时间的变化曲线如图 3 所示。 t_0 为消除分离间隙所需时间; t_1 为摩擦力矩增长到与机组阻力矩相等所需的时间; t_m 为摩擦力增长到最大值所需时间; t_q 为主从动部分转速相等所需时间。

根据图 3 曲线, 建立离合器摩擦力矩的数学模型如下:

$$M_m = \begin{cases} 0 & t < t_0 \\ kZR_p\mu(l - x(t) - l_{sg})/1000 & t_0 < t < t_m \\ ZR_p\mu F_{max}/1000 & t > t_m \end{cases}$$

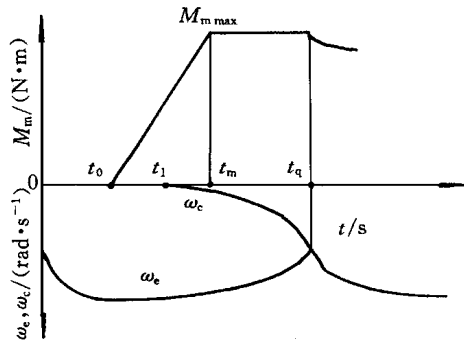
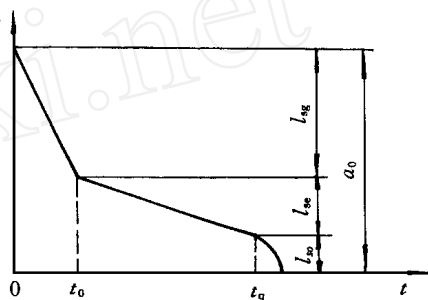


图 3 起步时离合器的接合过程

式中: k 为离合器接合过程与踏板位移对应的刚度; R_p 为摩擦片的平均作用半径; Z 为摩擦片数; μ 为摩擦因数; F_{max} 为施加于从动盘上的最大压紧力; l 为离合器踏板总行程; l_{sg} 为消除离合器分离间隙所对应的踏板行程; $x(t)$ 为离合器踏板位移, 是时间 t 的函数。由于在时间 t_q 以后的离合器接合过程对离合器品质无影响, 所以只考虑时间 t_q 以前的位移随时间变化的规律, 如图 4, 作如下假设:

$$\begin{cases} x(t) = a_0 + a_1 t & t < t_0 \\ x(t) = a_2 + a_3 t + a_4 t^2 & t_0 < t < t_q \end{cases}$$

式中: a_0, a_1, a_2, a_3, a_4 为受接合过程因素(如坡度、载荷、挡位、速度等)影响的因数, 不同操纵规律其值不同, 其中 $a_0 = l$; t 为离合器的接合时间。



l_{sc} —离合器压紧行程, mm;
 l_{so} —踏板自由行程, mm

图 4 踏板位移-时间曲线

1.4 机组阻力矩 M_c

机组阻力矩 M_c 由拖拉机机组惯性阻力矩 M_f 和农具阻力矩 M_i 这 2 部分组成, $M_c = M_f + M_i$ 。

2 离合器接合过程仿真

通常用冲击度 j 和滑摩功 W 来表征离合器接合过程的接合质量。

2.1 冲击度 j 的计算

冲击度是加速度对时间的导数, 反映离合器接合的平顺性。冲击度 j 数值越小越好, 其数学表达式为

$$j = \frac{da}{dt}, \quad a = \frac{r_k}{i_0} \cdot \frac{d\omega}{dt}, \quad \frac{d\omega}{dt} I_T = i_g M_m - M_q / i_0$$

式中: $\frac{da}{dt}$ 为拖拉机纵向加速度的变化率; a 为拖拉机纵向加速度; i_0 为变速器输出轴至驱动轮的减速比; r_k 为驱动轮滚动半径; i_g 为变速器传动比; I_T 为与变速器输出轴刚性连接的整车惯量转换至输出轴的当量惯量; $\frac{d\omega}{dt}$ 为变速器输出轴角加速度; M_q 为车轮牵引力矩。

2.2 滑摩功 W 的计算

离合器寿命通常用滑摩功的大小来衡量, 滑摩功小, 则离合器的温升低, 摩擦片的寿命长。

起步时离合器的接合过程(图 3)中,第 1 阶段是离合器摩擦面开始接触(此时 $M_m = 0$)到摩擦转矩 M_m 等于行驶阻力矩 M_c , 时间从 t_0 到 t_1 ; 第 2 阶段 M_m 增加到 $M_{m \max}$ 后保持不变, 直到从动轴角速度 ω 与发动机角速度 ω_c 相等, 时间从 t_1 到 t_q ; 所以滑摩功由 2 部分组成, 表达式为

$$W = \int_{t_0}^{t_1} M_m(t) \cdot \omega(t) dt + \int_{t_1}^{t_q} M_m(t) \cdot [\omega_c(t) - \omega(t)] dt$$

2.3 用全区间积分的定步长四阶龙格-库塔法求解微分方程

用这种方法进行求解,可以得到任一时刻的发动机角速度和离合器从动轴角速度,直到主动部分与从动部分的转速相等,离合器的滑摩结束。这样,离合器接合过程的每一时刻都可以得到相应参数的数值解。有了这一系列的数值解,就可以计算出该过程的冲击度、滑摩功以及离合器打滑终了时间 t_{qb} 。

3 应用

以东方红-20 拖拉机为例,对拖拉机满载工况下起步时的离合器接合规律进行了仿真,计算结果见图 5、图 6。图示曲线与理论分析一致,与类似机型的实验结果^[3]比较十分相似,因此本文中提供的数学模型和计算方法是正确的。

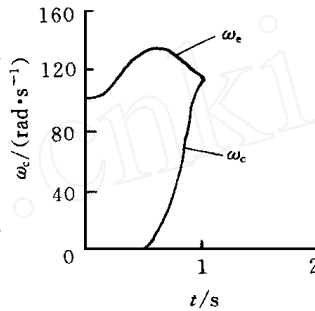


图 5 从动盘角速度 ω -离合器接合时间 t 曲线

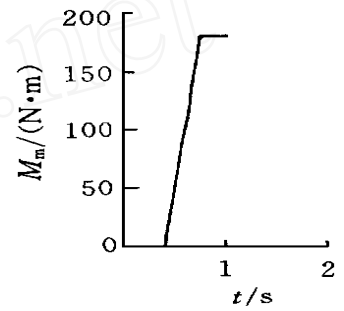


图 6 摩擦力矩 M_m -离合器接合时间 t 曲线

4 结论

1) 通过实验及数据的处理,建立了调速率与发动机无负载转速的关系,确定了发动机调速手柄在任意位置下快速加载时调速特性的数学模型,为在不同调速手柄位置下对离合器接合过程的动态仿真提供了基础。

2) 建立了拖拉机起步过程中机组、发动机、离合器和机组阻力矩的数学模型,为传动系统运动学、动力学的分析提供了理论工具。

参 考 文 献

- 1 周一鸣 拖拉机理论 西安:西安交通大学出版社,1982 146~ 149
- 2 侯瑞芬 拖拉机机组作业仿真实验台机械式变速器自动化研究: [学位论文]. 北京:中国农业大学,1999
- 3 钟绍华 电控机械式自动变速器的起步和换挡过程的研究: [学位论文]. 吉林:吉林工业大学,1992