

团体标准

T/CAAMM XXXX—202X/T/NJ XXXX—202X

混合动力拖拉机 驱动系统 设计技术规范

Technical specification for design of Hybrid Tractor Powertrain System

202X-XX-XX 发布

202X-XX-XX 实施

中国农业机械工业协会 发布

前 言

本文件按照 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》给出的规则起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的提出和发布单位不承担识别专利的责任。

本文件由中国农业机械工业协会提出。

本文件由中国农业机械工业协会归口。

本文件起草单位：河南科技大学、中国农业机械化科学研究院、农业农村部南京农业机械化研究所、南通富来威农业装备有限公司。

本文件主要起草人：。

本文件为首次发布。

混合动力拖拉机 驱动系统 设计技术规范

1 范围

本文件规定了规定混合动力拖拉机驱动系统相关的术语和定义、范围、一般要求、设计规范等内容。
本文件适用于混合动力拖拉机。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期的对应版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

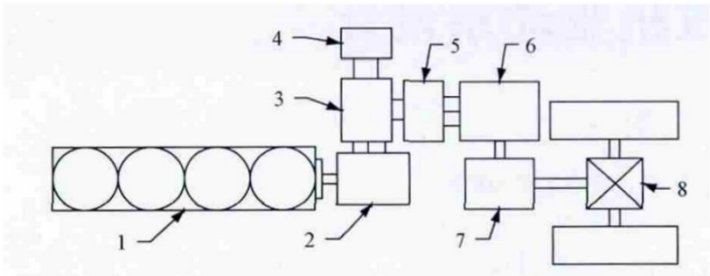
GB/T 6960.2 拖拉机术语 第2部分：传动系
GB/T 1147.2 中小功率内燃机 第2部分：试验方法
JB/T 9827 拖拉机传动箱 技术条件
JB/T 6697 机动车及内燃机电气设备 基本技术条件
GB/T 24643 拖拉机机组田间作业耗油量
HJ 1014 非道路柴油移动机械污染物排放控制技术要求
GB 16151 农业机械运行安全技术条件
GB/T 24648 拖拉机可靠性考核

3 串联混合动力拖拉机驱动系设计与计算方法

3.1 驱动系设计

3.1.1 传动方案

图1为本文所采用串联式混合动力拖拉机驱动系传动方案，主要由发动机、发电机、蓄电池、电耦合装置、牵引电动机、电动机控制器、变速器和后桥等组成。图2为驱动系统功率流示意图，柴油机/发电机作为主能源，蓄电池组作为辅助能源，2路功率流通过由整流器及DC-DC变换器组成的电耦合装置进行汇流。拖拉机动力总成由能源系统提供电能，通过电机控制器调整牵引电动机的输出特性，控制其正向或反向运转。拖拉机工作时，根据农业工程学报2014年12运行模式及控制策略调整其能源方案；不工作时，通过充电器由电网向蓄电池组进行充电。



1.发动机 Engine 2.发电机 Generator 3.电力耦合器 Electric coupler 4.蓄电池组 Storage battery 5.电机控制器 Motor controller 6.牵引电动机 Traction motor 7.变速器 Gearbox 8.中央传动 Central transmission

图1 串联混合动力拖拉机驱动系统结构

Fig.1 Structure of series hybrid electric tractor

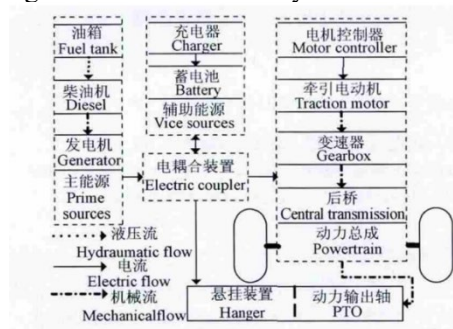


图2 串联混合动力拖拉机功率流

Fig.2 Power flow of series hybrid electric tractor

3.1.2 额定牵引力

拖拉机工作时，其驱动力需克服拖拉机本身滚动阻力以及其他行驶阻力，才能进行作业。如图3所示，拖拉机作业时其驱动力 P_{TN} 与各种阻力的平衡关系为：

$$P_{TN} = P_g + P_f + P_p + P_{Af} + P_i \quad (1)$$

式中： P_{TN} 为驱动力， kN ； P_g 为耕作阻力， kN ； P_f 为滚动阻力， kN ； P_p 为坡度阻力， kN ； P_{Af} 为空气阻力， kN ； P_i 为加速阻力， kN 。

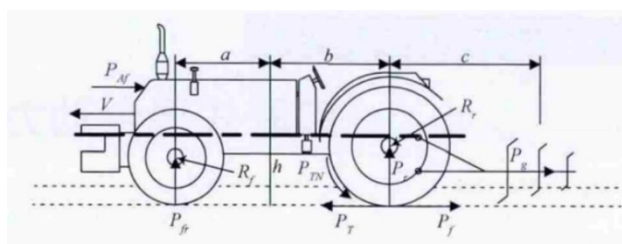
拖拉机额定牵引力 P_{TM} ，通常由其主要配套农具在常用工作条件下的平均牵引阻力（耕作阻力） P_g 来确定，考虑其工作条件及农具性能变化所引起的阻力变化因素，应留有10%~20%的储备。在农业生产中，犁耕是最基本且负载较大的作业，额定牵引力的确定，首先应满足犁耕工况的要求。拖拉机犁耕牵引力 P_{gl} 为：

$$P_{gl} = Z \cdot b_l \cdot h_k \cdot k \quad (2)$$

式中： Z 为犁铧个数； b_l 为单个犁铧宽度， cm ； h_k 为耕深， cm ； k 为土壤比阻， kN/cm^2 。

拖拉机额定牵引力为：

$$P_{TM} = (1.1 \sim 1.2) P_{gl} \quad (3)$$



注： a 为拖拉机前轴到重心距离， m ； b 为后轴到重心距离， m ； c 为后轴到农具理论受力点距离， m ； h 为重心高度， m ； R_f 为前轮半径， m ； R_r 为后轮半径， m 。

Note: a is the distance between tractor's front axle and its barycenter, m ; b is the distance between tractor's rear axle and its barycenter, m ; c is the distances between tractor's rear axle and implement's force bearing point, m ; h is the height of barycenter, m ; R_f is the radius of front wheel, m ; R_r is the radius of rear wheel, m .

图3 拖拉机牵引机组作业受力示意图

Fig.3 Sketch of wheeled tractor working with implement

3.1.3 牵引电动机功率

串联混合动力拖拉机牵引功率应满足额定牵引力的要求。牵引电动机在低转速范围内具有恒转矩特性，在高转速范围内具有恒功率特性。针对串联混合动力拖拉机，利用其牵引电动机低转速时的恒转矩

特性，以拖拉机进行犁耕作业时的最大设定速度作为确定牵引电动机恒转矩工况最大转速的设定依据。牵引电动机功率应满足拖拉机犁耕作业时所需的额定牵引力，即：

$$N_{TM} = \frac{3.6P_{TM}V_T}{\eta_T} \quad (4)$$

式中： N_{TM} 为牵引电动机功率， W ； V_T 为拖拉机耕作速度， km/h ； η_T 为牵引效率。

由式（4）计算出牵引电动机的功率 N_{TM} ，在产品目录上选择合适的电动机，其额定功率 N_N 应满足：

$$N_N \geq N_{TM}$$

(5)

3.1.4 发动机/发电机功率

发动机/发电机组是混合动力拖拉机主要供能单元，其在拖拉机正常工作时不仅需要产生供给牵引电动机的功率，还需产生附加功率以承载非牵引、连续的辅助功率，如机载 GPS、照明设备、车内负载、通信设备、电子系统以及辅助设备（如风冷风扇等）所需的功率，估算这部分功率需求为3~15 kW。同时发动机/发电机组还需提供驱动液压悬挂装置的功率，并需要在蓄电池组的 SOC（state of charge）降低时根据控制策略对其进行充电。因此发动机/发电机的额定功率设计值为：

$$N_{TI} = \frac{N_{TM} + \frac{N_H}{\eta_H} + (3 \sim 15)}{\eta_E} \quad (6)$$

式中： η_E 为输电效率； N_H 为驱动液压悬挂装置所需功率， kW ； η_H 为悬挂系统效率。

3.1.5 变速器排挡设置

按照拖拉机用途不同，将其工作方式分为作业模式和行驶模式2种。当拖拉机处于作业模式时，利用牵引电动机低转速时的恒转矩特性进行工作；当拖拉机处于行驶模式时，利用牵引电动机高转速时的恒功率特性进行工作，使其具有较大的车速变化范围。因此，应根据拖拉机不同工况下的负荷大小进行变速器排挡设置。根据拖拉机负荷率的不同，其作业模式分为3种：100%负荷率时的重载模式、85%负荷率时的中载模式、70%负荷率时的轻载模式。本文所述装机对象设置4个排挡，即按照拖拉机作业模式不同的3个作业模式挡和一个以55%负荷率为设定值的行驶模式挡。在牵引电动机达到额定转速时有：

$$N_1 = N_{TM} \cdot 100\% = \frac{3.6 \cdot P_1 \cdot V_1}{\eta_T} \quad (7)$$

$$N_2 = N_{TM} \cdot 85\% = \frac{3.6 \cdot P_2 \cdot V_2}{\eta_T} \quad (8)$$

$$N_3 = N_{TM} \cdot 70\% = \frac{3.6 \cdot P_3 \cdot V_3}{\eta_T} \quad (9)$$

$$N_4 = N_{TM} \cdot 55\% = \frac{3.6 \cdot P_4 \cdot V_4}{\eta_T} \quad (10)$$

式中： $N_1 \sim N_4$ 为各挡负荷， kW ； $P_1 \sim P_4$ 为各挡负载阻力， kN ； $V_1 \sim V_4$ 为各挡行驶速度， km/h 。

由于拖拉机行驶速度变化较缓，可假设在各挡位下工作时的拖拉机均以一档（本文定义为基本工作挡）时的额定转速作为参照值，那么在某一时刻，电动机输出转速、转矩与功率之间存在下列关系：

$$T_n = 9550 \frac{N_n}{n_1} \quad (11)$$

式中： T_n 为 n 挡时变速器输出端的最大转矩， $N \cdot m$ ； N_n 为电动机输出功率， kW ； n_1 为一挡额定转速， r/min 。

则第 n 挡传动比 i_n 为：

$$i_n = \frac{T_1}{T_n} \xi \quad (12)$$

式中： ξ 为配比系数。

3.1.6 能量存储装置功率和能量设计

鉴于拖拉机实际作业时会出现负载突变，为了保证混合动力拖拉机正常作业，本文使用蓄电池组补充负载突变所需的峰值功率 N_{bT} ，可表示为：

$$N_{bT} = \frac{N_m}{\eta_T \cdot \eta_E} - N_{En} \quad (13)$$

式中： N_{En} 为某挡位标定负荷率下的输入功率，kW； N_m 为负载突变时所需牵引功率，kW。

对于本文所述混合动力拖拉机而言，其蓄电池的功率 N_p 为：

$$N_p \geq N_{TM} \cdot 15\% \geq N_{bT} \quad (14)$$

取锂电池的比能量/比功率为 0.1 h，可得锂电池组的能量容量为：

$$W_E = 0.1N_p \quad (15)$$

3.1.7 质量参数设计

最大使用质量 G_{Smax} 应使所设计的拖拉机在所 属工况下工作时，滑转率不超过规定值的情况下发挥出额定牵引力，即：

$$G_{Smax} = \frac{P_{TM}}{\phi_\sigma \lambda_{qN} - f} \quad (16)$$

式中： ϕ_σ 为滑转率为规定值时的附着系数； λ_{qN} 为 动态质量分配系数； f 为滚动阻力系数。在对发电机、电动机、蓄电池进行选型时，需 在其质量约束范围内权衡其比能量和比功率进行选择，即：

$$\sum_{i=1,2,3} G_i - \Delta G_{gearbox} \leq G_{Smax} - G_{structure} \quad (17)$$

式中： G_1 为发电机质量，kg； G_2 为电动机质量， kg； G_3 为蓄电池组质量，kg； $\Delta G_{gearbox}$ 为装机前后变速箱质量差，kg； $G_{structure}$ 为装机前拖拉机结构质 量，kg。

设计重心位置时应使拖拉机在额定牵引力下， 前后轮均达到其承载能力，以充分发挥轮胎的牵引 能力。本文所述的混合动力拖拉机重心位置距驱动 轮前轮中心连线的距离 a 为：

$$a = 0.2L + 0.4h_T + 0.01R_f + 0.04R_r \quad (18)$$

式中： L 为混合动力拖拉机轴距，m； h_T 为牵引点 离地高度，m。