

团体标准

T/CAAMM XXXX—202X

电动拖拉机能量管理系统测试与性能评价方法

Testing and Performance Evaluation Method of Energy Management System for Electric Tractors

（征求意见稿）

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。本文件的发布机构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。

电动拖拉机能量管理系统测试与性能评价方法

1 范围

本文件规定了电动拖拉机能量管理系统性能评价的术语和定义、范围、技术要求、工况要求、检验条件，性能试验、试验内容和方法、检验规则和评价等内容。

本文件适用于电动拖拉机。

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。

NY/T 2207-2019 轮式拖拉机能效等级评价

QC/T897-2011 电动汽车用电池管理系统技术条件

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

电动拖拉机 electric tractor

具有至少两根轴的轮式、带式或轮履组合式自走式农业电动车辆，具有拖拉、推动、运、提供驱动农具的动力、牵引农用挂车和农具的功能，或具有以上功能的组合，用于农业(包括林业)作业,可配备装载平台。

3.2

能量管理系统 energy management system

是一种集软硬件于一体的智能化系统，用于监控、控制和优化能源系统中的能量流动和能源消耗。它基于数据采集、分析和决策支持技术，能够实时监测能源设备的运行状态、能源消耗情况以及环境条件，从而实现能源的高效管理和优化。

4 工况要求

4.1 田间基本作业

主要针对一些低速、需要搭配农机具的作业，如犁耕、旋耕、除草、喷药、耙地等，此类作业的特点是基础需求功率比较大，行驶速度比较低且相对稳定。

4.2 运输作业

主要是指田间运输和道路运输，此类作业的特点是牵引力比较小，但是行驶速度比较大且多变。

5 试验要求

5.1 旋耕深度为 5 cm，试验田长 60 m，宽 11 m。

5.2 单个作业工况从田间行头到行尾一个来回包括旋耕机入土、加速作业、匀速作业、减速作业、掉头作业、加速作业、匀速作业、减速作业以及旋耕机出土 9 个阶段(见图 1)。平均匀速约为 0.83 m/s。

5.3 连续作业过程中还包括转场作业，转场行驶速度约为 0.42 m/s，转场时 PTO 不工作。

5.4 旋耕转矩要以恒定模式周期性波动。

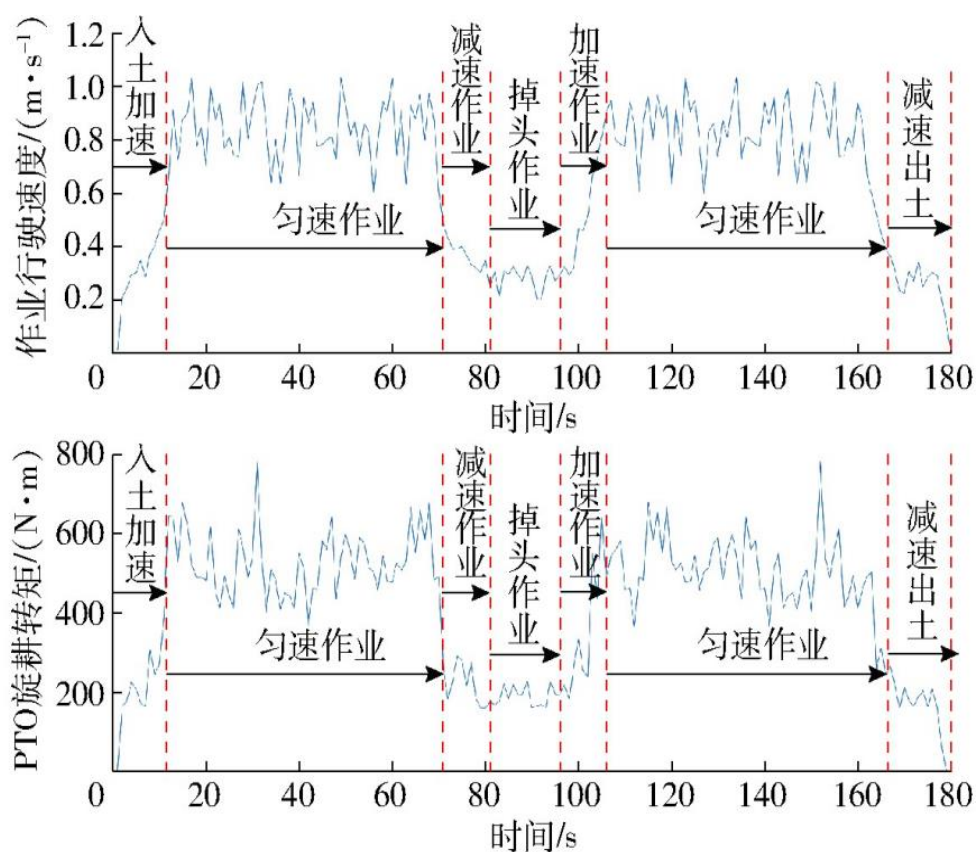


图1 旋耕作业单个循环工况

6 试验内容

6.1 恒温器能量管理策略方法

恒温器能量管理策略是根据电池的电池荷电状态（SOC）的上、下限来控制增程器的启停，使拖拉机在作业过程中电池的电量始终保持在设置的范围内。

恒温器能量管理策略的基本原理可以描述为：首先在电池电量高于一定阈值时，使拖拉机处于纯电动模式运行，在此过程中，电池电量不断下降，当期下降到电池电量允许的下限时，增程器启动，此时增程器的

发动机工作在事先设置好的固定工作点上，增程器发出的功率首先保证驱动电机的需求，剩余的部分为动力电池充电，当电池电量达到所设定的上限时，增程器关闭，拖拉机再次进入纯电动运行模式，当电池电量在所设定的阈值范围内时，发动机保持上一时刻的运行状态，其原理如图 2 所示。

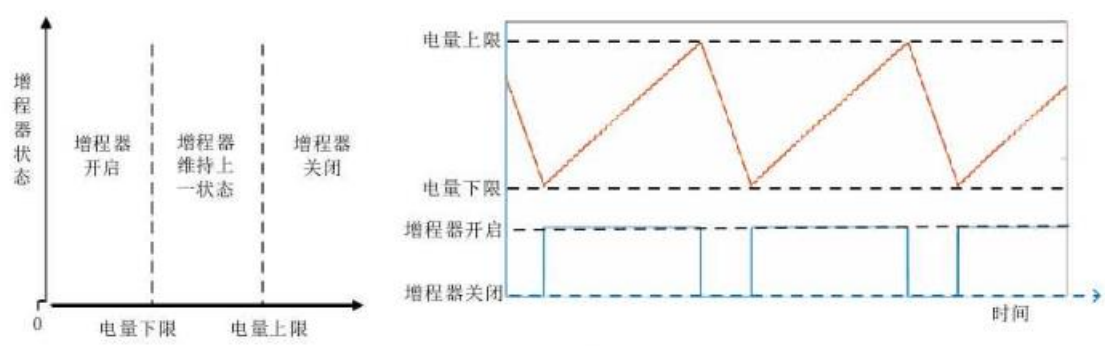


图 2 恒温器控制策略原理图

6.2 功率跟随能量管理策略方法

功率跟随能量管理策略相比于恒温器能量管理策略更为复杂，虽然其增程器的启停也是根据电池剩余电量来决定，但是增程器输出的功率大小除了整车的需求功率以外还取决于电池剩余电量。其原理可以描述为：在电池电量高于下限且整车的需求功率较小时，车辆处于纯电动工作模式，当电池电量下降到下限时，增程器启动，直到电池电量恢复到设定的上限，在此之前工作模式与恒温器能量管理策略一致，当电池电量较低且整车处于中等需求功率时，增程器启动，发动机的功率的大小为整车需求功率与当前电池电量下所对应的充电需求功率之和。当整车需求功率很大时增程器持续开启。由于拖拉机犁耕时的需求功率一般处于一个较大的需求范围，所以本文设置的电池充电需求功率较低，不同电池电量下对应的充电功率需求表如表 1 所示，增程器工作状态如图 3 所示。

表 1 不同电量下电池充电功率

电池电量	0	0.4	0.6	0.8	0.9	0.91	1
充电功率(kW)	12	10	8	5	2	0	0

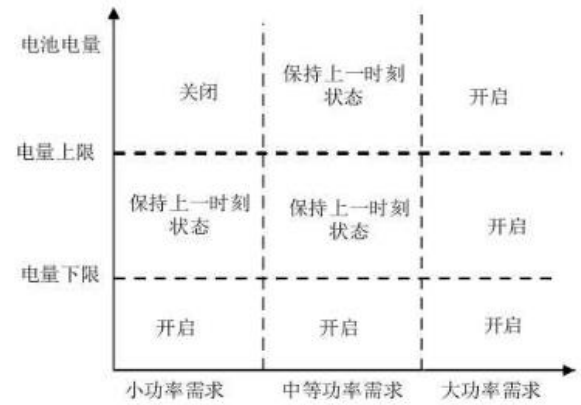


图3 功率跟随策略原理图

6.3 模糊控制能量管理策略方法

模糊控制作为一种广为应用的智能控制方法，是控制策略的核心部分。模糊控制器主要采用 3 个输入，1 个输出的结构，采用 Mamdani 推理方法。输入与输出约束条件为

$$p_{req} = \eta p_{ess} \quad (1)$$

$$K_{bat} = p_{bat} / p_{ess} \quad (2)$$

$$p_{ess} = p_{bat} + p_{sc} \quad (3)$$

$$K_{bat} + K_{sc} = 1 \quad (4)$$

式中 p_{req} ——需求功率 (kW)；

p_{ess} ——复合电源可提供功率 (kW)；

p_{bat} ——动力电池输出功率 (kW)；

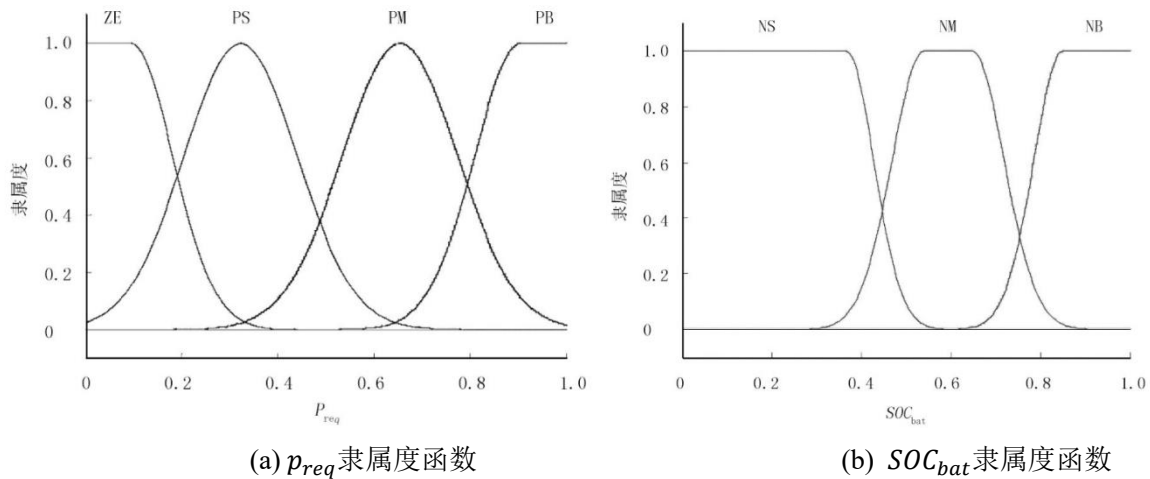
p_{sc} ——超级电容输出功率 (kW)；

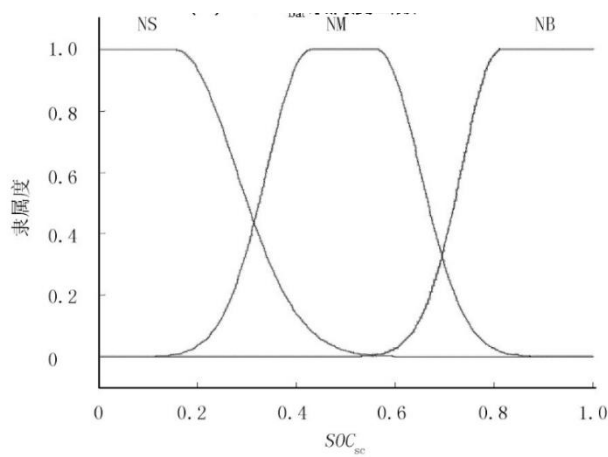
K_{bat} ——动力电池功率分配因子；

K_{sc} ——超级电容功率分配因子。

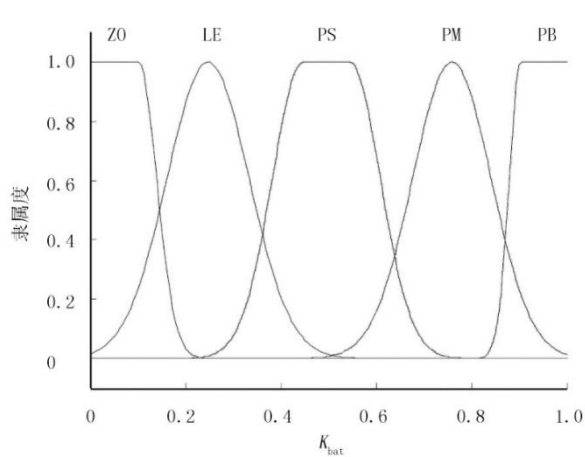
图 4 为各输入、输出的隶属度函数。隶属度函数反映了论域空间上每一点的隶属度映射到 0 到 1 之间的对应关系。输入量 p_{req} 论域为[0, 1]，对应模糊集合为[ZE, PS, PM, PB]，分别代表{零, 正小, 正中, 正大}； SOC_{bat} 论域为[0.3, 0.9]，对应模糊集合为[NS, NM, NB]，分别代表{低, 中, 高}； SOC_{sc} 论域为[0.2, 0.95]，对应模糊集合为[NS, NM, NB]，分别代表{小, 中, 大}；输出量 K_{bat} 论域为[0, 1]，对应模糊集合为[ZO, LE, PS, PM, PB]，分别代表{零, 较小, 正中, 较大, 很大}。

模糊规则是模糊控制的核心，规则中输入量与输出量范围划分越详细则越接近最优控制，但控制算法计算也会越复杂，在合理划分范围后并根据上述控制策略建立的模糊规则库如表 2 所示，得到的输入输出变化关系如图 5 所示。





(c) SOC_{sc} 隶属度函数



(d) K_{bat} 隶属度函数

表2 模糊规则表

SOC_{sc}	P_{req}	SOC_{bat}		
		NS	NM	NB
NS	ZE	ZO	ZO	ZO
	PS	PM	PB	PB
	PM	PM	PB	PB
	PB	PM	PB	PB
	ZO	ZO	ZO	ZO
NM	PS	LE	PS	PM
	PM	ZO	PS	PB
	PB	LE	PM	PB
	ZE	ZO	ZO	ZO
NB	PS	ZO	ZO	ZO
	PM	ZO	LE	PS
	PB	ZO	PS	PM

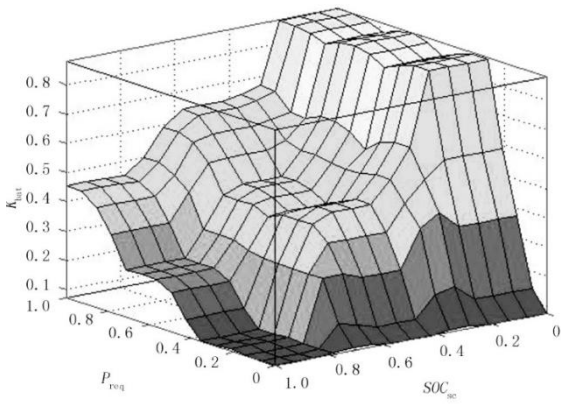
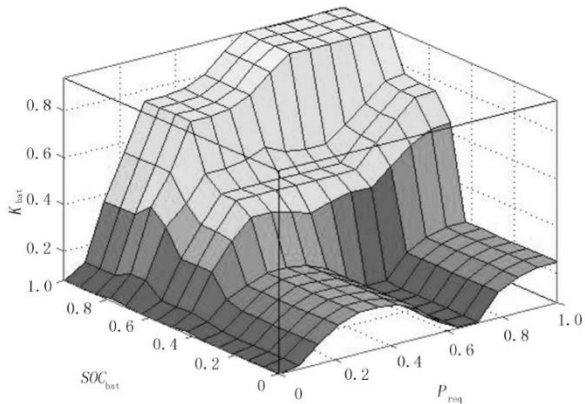


图5 输入和输出关系

7 评价

7.1 是否能提高电池寿命、续航里程。拖拉机由于工作环境的原因导致其工况复杂多变，其工况激变必然导致输出功率波动，电池系统寿命、续航里程进而降低。通过对供给能源的输出功率进行调整，可有效提高电动拖拉机的电池寿命及续航里程。

7.2 是否能提高系统驱动性能。拖拉机重载作业模式下负载峰值功率和高频功率存在较大随机性，单一电源方案无法有效匹配电动拖拉机负载特性，整机动力性下降。采用复合电源方案可以很好地解决这一问题，提高整机驱动性能以及作业效率。

7.3 是否能节约能源、保护环境、降低成本。电动拖拉机驱动所用电能溯其本源，多数依然是基于化石燃料燃烧所得。提高电动拖拉机能量管理系统的控制精度可进一步减少能源浪费，降低成本。

7.4 是否有利于匹配拖拉机在直行作业、地头转弯等不同工况下所需的输出功率，提高作业精度和作业效率，促进精准农业的发展。

7.5 是否有利于提高各部件的可靠性，降低故障发生率，减少不必要的意外损失。