

混合动力拖拉机动力系统方案研究

赵爱娜 宋国华

(潍柴动力股份有限公司 山东 潍坊 261061)

摘要: 拖拉机作为一种重要的农业动力机械,其作业的方式多种多样。根据农用拖拉机作业方式不同和高频率的波动程度,再加上农业作业对农用拖拉机的动力、牵引力、机动程度和燃油等方面的各项要求,本文较为系统地梳理了三种可用于农用拖拉机的混合动力系统,并根据三种混合动力系统的特性及技术难度等设计了一款双轴并联的农用拖拉机混合动力系统。

关键词: 拖拉机; 动力系统; 混合动力; 方案设计

0 引言

传统的农用拖拉机工作时,动力系统不能对发动机功率进行充分利用,导致油料利用不充分、油耗升高、有害气体排放过量等。混合动力系统增加了一个电动机,可以对发动机进行优化,进而提升其能源利用率。

1 混合动力拖拉机动力系统方案

由于混合动力系统一般具有两个或两个以上的电源,因此电源的输入、输出、控制和传输等可以通过多种方式来实现,因此混合动力的系统可以有多种方案。农用拖拉机性能差异是由动力系统不同所导致的。农用拖拉机复杂的作业环境和工况导致了其动力系统方案不仅会对拖拉机的功率、使用成本、尾气排放和燃油经济性等方面造成影响,还会对拖拉机系统内部的复杂性和控制的准确性产生影响。根据混合动力农用拖拉机系统的零部件配置和驱动原理,其动力系统可分为串联型、并联型和混合型三种^[1]。

1.1 串联式混合动力系统

串联式混合动力系统的发电机只为蓄电池供电,不对电动机供电。电动机利用发电机产生的电能需要利用蓄电池,这导致了能量的浪费;动力系统的发电电动机组产生的能量不仅使蓄电池完成储能,还可以使电动机获得能量从而驱动车辆(图1)。与两者相比,后者具有更合理的结构和功能,因此得到了更为广泛的应用。

串联式混合动力系统发动机产生的功率仅需要

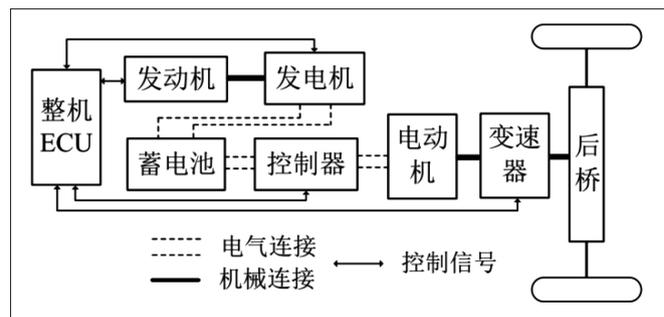


图1 串联式混合动力系统示意图

提供车辆在某个固定速度下的功率即可,车辆的行驶环境不会对其工作状态产生影响^[2]。串联式系统发动机的功率较小,可操作性强,结构布置自由,可长时间在最佳工作区稳定运行,且电动机直接为车辆提供驱动动力,极大地提升了发动机的工作效率,降低了油耗和有害气体排放,同时还具有高效低排的优点。但是,使用串联式系统的车辆所需的所有用电均是来自电动机,导致需要大容量的蓄电池。同时由于农用拖拉机的作业环境复杂,工况多变,电动机难以保持高效率的工作状态,导致驱动效率不高。因此,串联式混合动力系统具有发电电动机和电动机体积大、整体能源利用率低和需要大容量电池等缺点。

1.2 并联式混合动力系统

并联式混合动力系统的组成较为复杂,有发动机、电动机、蓄电池和动力耦合机构等(图2)。并联式系统采用并联的方式将发电电动机和电动机进行连接,发动机和电动机经过动力耦合机构进行动力输出驱动车轮^[3]。发动机和电动机的驱动系统是独立、互不干扰的,可独立也可共同提供动力。电动机在不同

的情况下有多种用途，既可以作为电动机进行驱动，也可以作为发电电动机逆行发电。并联式系统没有专门的发电电动机，与传统的动力系统很相似，所以在实际中应用较多。

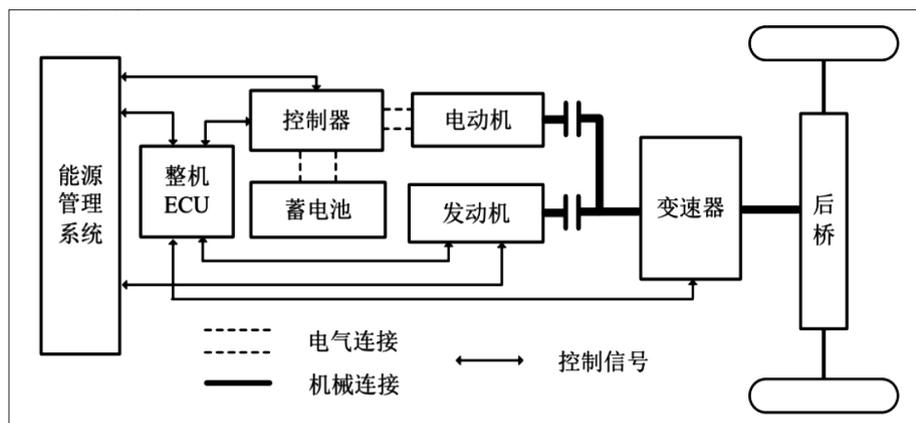


图2 并联式混合动力系统示意图

并联式混合动力系统的特点是，电动机和发动机可单独工作，各自驱动车辆，工作效率高、油耗低。同时，由于并联式动力系统是由发动机进行驱动的，所以具有能量利用充分、系统小等优点^[4]。然而，跟传统车辆的动力系统一样，混合动力系统的发动机转速会因车速变化而变化，工作状态不稳定，必须安装电动机、电池和动力耦合机构等部件。因此，并联混合动力系统具有性能差、附属结构多等缺点。

1.3 混联式混合动力系统

混联式混合动力系统的组成主要包括：电动机、发动机或发电电动机、蓄电池、驱动系统和驱动电动机等。该系统不仅克服了串并联混合动力系统的缺点，又考虑了串并联混合动力系统的优势。相比串联型动力系统，混联式混合动力系统增加了“并联”机械驱动模式来使发动机直接驱动车辆；相比并联型动力系统，混联式混合动力系统又增加了“串联”发电电动机的发电方式^[5]。

混联式混合动力系统的驱动方式较为多样，可根据不同条件分别采用“并联”驱动方式、“串联”驱动方式或“并串联”三种类型的组合驱动方式；系统可通过科学合理的控制策略使各元件的效率、电源的负载率和能源的综合利用率均达到更高水平；但同时，混联式混合动力系统能源电力系统构成较为复杂，布局存在一定困难；因此就需要更加复杂而精确的控制策

略和控制系统来实现多种组合模式的科学合理转换。

为提高整车的能量利用率和各元件的工作效率，混合动力系统的设计包含两套动力子系统，可根据不同条件下的动力要求和工况来控制车辆使用差异化的驾驶模式。因此，混联式混合动力系统的优点不仅包含多样化的驱动模式，还可提高能量的综合利用效率。

混联式混合动力系统的多个动力总成对系统运行的可靠性提出了更高要求。因此，混联式混合动力系统具有控制系统复杂、结构布局困难和造价高等不足。同时，因为该系统发动机运行模式受到车辆实时运行工况的影响，其综合废气排放量要高于“串联式”混合动力系

统^[6]。

2 混合动力拖拉机动力系统方案设计

混合动力系统的方案内容主要包括：发电电动机和发动机的结构布局、动力结合方式和传动装置布设等。这三项内容的设计直接影响到拖拉机牵引附着、动力性能和燃油经济性，还影响到动力系统控制（包括变速器换档控制、蓄电池能量管理、发动机/发电电动机转速和转矩输出以及整机功率分配控制）的难度和精准度，甚至影响作为主要农业生产工具“拖拉机”的使用经济性^[7]。其工作原理如图3所示。

2.1 动力系统方案设计

拖拉机作为最广泛使用的农业生产工具，其工作场景较为复杂，不同使用场景下所需的速度、动力

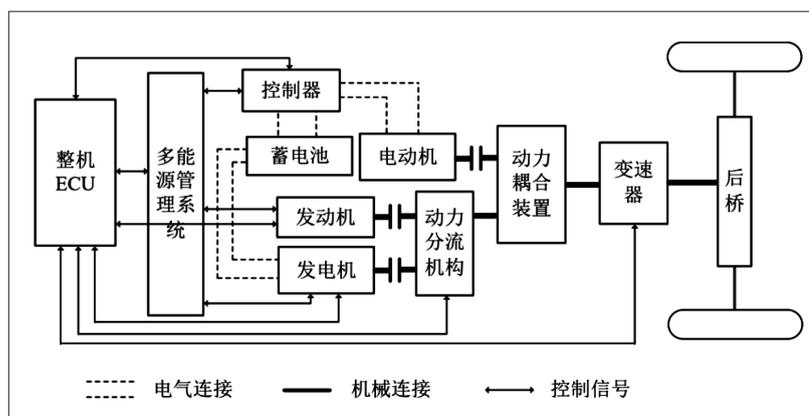


图3 混合动力拖拉机动力系统工作原理示意图

各不相同，速度和动力的调节主要依靠拖拉机的传动装置来实现。变速器作为拖拉机混动式动力系统的构成，其布置方式多种多样；不同的变速器布局结构形成拖拉机不同的混合动力系统，这将需要拖拉机采用多种调节方式来满足不同工况下的牵引力和动力要求。

2.2 动力系统方案选择

为使拖拉机呈现出良好的使用性能，更好地满足农业使用场景和农艺要求的适应性、技术经济性和劳动保护性，需要对其动力系统进行深入研究和精细化设计。

混合动力拖拉机动力系统方案的选择需要综合考虑拖拉机工作条件、技术经济性、对农业使用场景和农艺要求的适应性，以及劳动保护等多方面因素。根据拖拉机的使用场景，依托现有技术水平，选择既能满足使用性能要求，维修成本又低、电力系统结构型式又可靠，且价格可为农户所接受的动力系统。

2.3 动力系统备选方案

拖拉机在运行过程中主要使用的是牵引力，牵引力大小的调节主要依靠变速装置，通过调节变速装置可适应不同使用场景下的牵引阻力。因此，为满足拖拉机在运行中的牵引变化需求，应设计出工作效率高、功率利用好的变速器布局。根据变速器的设置要求，设计出以下两种拖拉机变速器的布置方案：

方案1:将变速器布置在动力耦合机构前面(图4)；

方案2:将变速器布置在动态耦合机构后面(图5)。

由图4可知，将变速器布置在发动机和转矩耦合装置之间，发动机的转矩和转速首先通过变速器降低和提高，然后与电动机的转矩和转速耦合，最后传递到驱动桥。目前，市面上拖拉机的发动机以柴油机为主，由于柴油机的高效转速水平较低，导致变速器减速后使得发动机转速降低；电动机的高效转速水平与之相似，电动机转矩的调节无需通过变速器实现，因此，该方案不能达到电动机和发动机同时达到高效区，能源利用效率低且损失大，需要选择转矩较大的发动机，但该方案动能回收效率高。

由图5可知，变速器位于驱动桥和动力耦合机构之间，电动机和发动机的功率通过耦合装置的叠加进行组合，然后传输到变速器进行减速、增加转矩，最后传输到驱动桥上。由于柴油机和电动机二者的

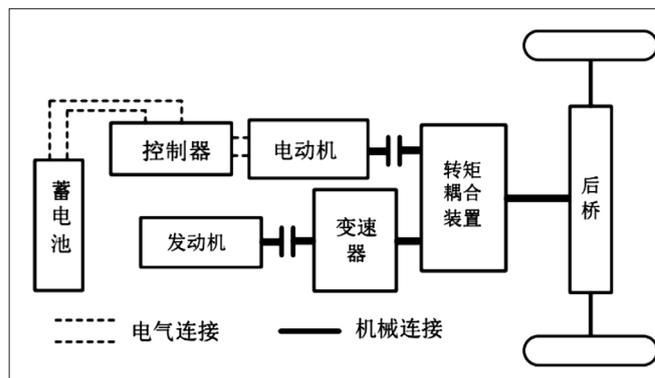


图4 动力系统备选方案1

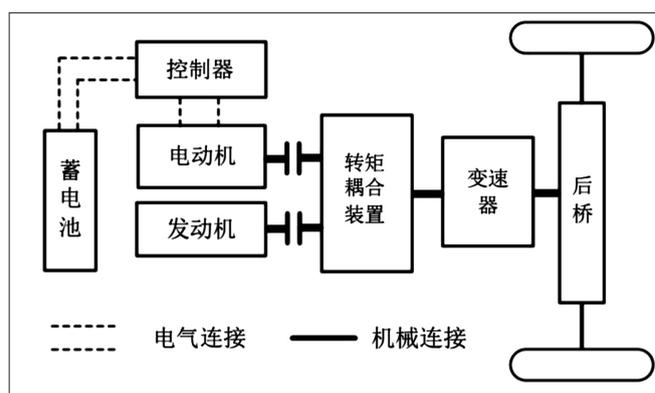


图5 动力系统备选方案2

高效转速水平相近，该方案可以使发动机和电动机同时处于高效率区间内，方案2的协调控制难度低，但动能回收效率低。

2.4 混合动力拖拉机动力系统工作模式

拖拉机的操作类型繁多。在实际作用中，根据不同项目的不同负荷，可将作业分成重载、中载和轻载三种，这三类作业所需的牵引电阻不同^[8]。因此，本文设计的系统辅助型混合动力系统(图6)，发动机提供主驱动力，电动机提供辅助驱动力，即平均驱动力由发动机提供，不同工况下所需的额外驱动力由电动机提供，这种系统运行稳定，可以提升运行效率。

3 结语

本文首先对串联、并联和混联三种农用拖拉机动力系统的结构、优缺点进行了分析，并根据分析结果确定了本文设计的农用拖拉机应采用混联式混合动力系统；然后根据农业拖拉机对实际使用性能的要求，提出了适合的设计方案，此方案根据并联式混合动力的农用拖拉机的动力总成提出了多种可用的动力部件布设方案；最后从并联式混合动力农用拖拉

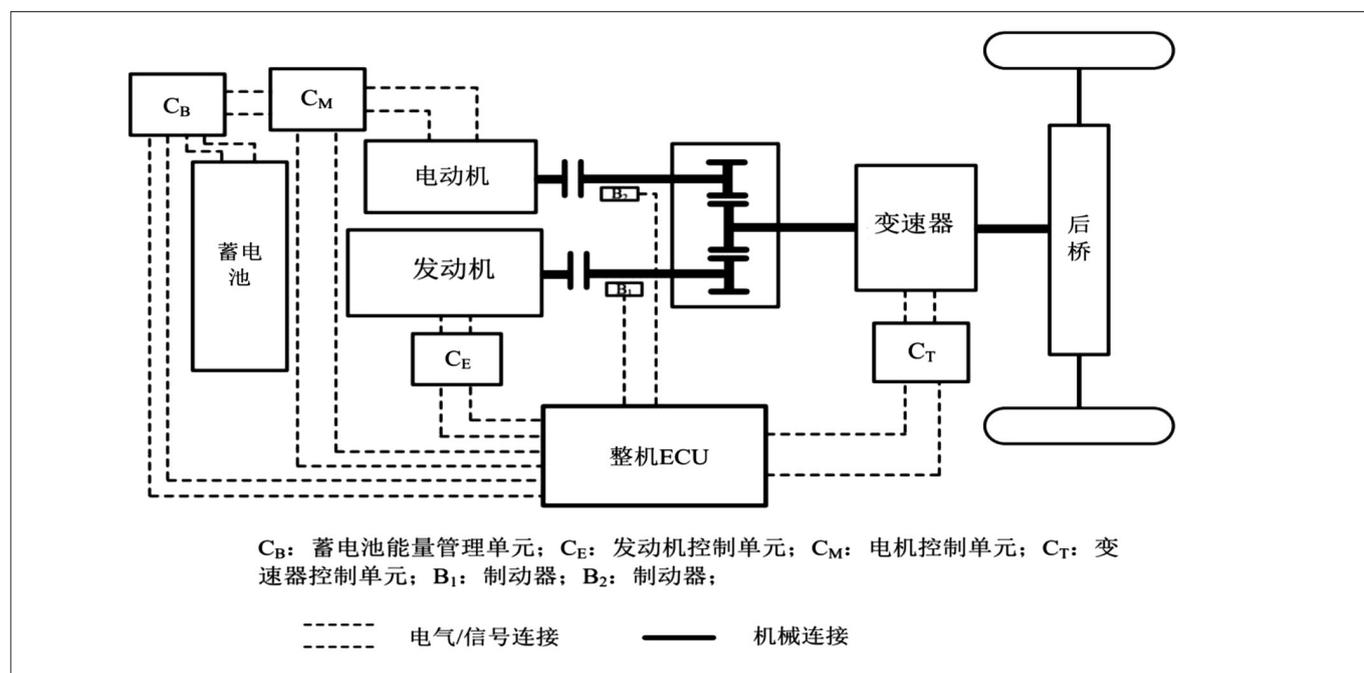


图6 动力系统结构示意图

机的运行模式、牵引力和动力源间协调等方面出发，对其在实际作业中可能会用到的工作模式，以及在 这些模式下系统零部件的工作状态进行了系统分析。

参考文献:

- [1] 张亚萍. 混合动力用于拖拉机的研究与思考 [J]. 农业工程技术, 2021, 41(11):56-57.
- [2] 龚敏昆. 锂电池驱动拖拉机动力系统优化与设计 [J]. 农机化研究, 2020, 42(12):265-268.
- [3] 时辉. 混合动力拖拉机动力系统设计研究 [D]. 洛阳: 河

南科技大学, 2014.

- [4] 侯辛奋. 串联式混合动力拖拉机驱动系统的设计与性能分析 [D]. 南京: 南京农业大学, 2017.
- [5] 王小冰. 新型混合动力拖拉机驱动系统设计及仿真 [D]. 南京: 南京农业大学, 2016.
- [6] 徐立友, 刘孟楠, 周志立. 串联式混合动力拖拉机驱动系统设计 [J]. 农业工程学报, 2014(9):11-18.
- [7] 黄思源. 拖拉机机电复合动力传动系统特性研究 [D]. 洛阳: 河南科技大学, 2019.
- [8] 周润东. 不同工况下串联式混合动力拖拉机能量分配策略研究 [D]. 江苏: 南京农业大学, 2020.