



# (12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107719358 A

(43)申请公布日 2018.02.23

(21)申请号 201710826256.1

(22)申请日 2017.09.13

(71)申请人 北京理工大学

地址 100081 北京市海淀区中关村南大街5号

(72)发明人 杨业 张幽彤 李涛

(51)Int. Cl.

B60W 20/11(2016.01)

B60W 30/188(2012.01)

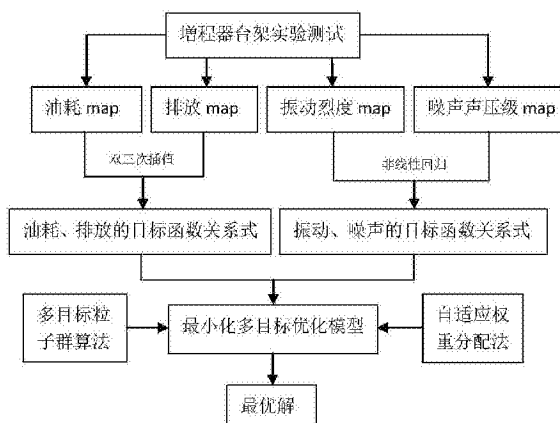
权利要求书1页 说明书3页 附图3页

## (54)发明名称

一种增程器优化运行控制方法

## (57)摘要

本发明公开了一种增程器优化运行控制方法,适用于将增程器作为第二动力源的纯电动汽车,本发明属于新能源汽车动力技术领域。本发明综合考虑增程器油耗、排放和振动噪声对增程器实际运行工况影响,利用插值法和非线性回归的方法,分别拟合了增程器关于转速—转矩的多目标函数;运用多目标粒子群算法和自适应权重分配方法,结合增程器的转速、转矩约束,对多目标函数模型进行优化求解,获得增程器最优工作点。本发明能够根据城市排放法规、道路状况和经济需求实时调整目标权重分配,获得增程器优化工作点,可以使增程器动力系统工作在“经济、绿色、舒适、折中”四个区域。



1. 一种增程器工作点优化方法,其特征是:综合考虑增程器油耗、排放和振动噪声对增程器实际运行工况影响,通过大量实验数据,利用插值法和非线性回归的方法,分别拟合增程器关于转速—转矩的6目标函数:油耗特性 $f_{FC}(n, T)$ 、HC排放特性 $f_{HC}(n, T)$ 、CO排放特性 $f_{CO}(n, T)$ 、NO<sub>x</sub>排放特性 $f_{NOx}(n, T)$ 、机体振动烈度 $f_{Vs}(n, T)$ 和辐射噪声声压级 $f_{LPA}(n, T)$ 。

2. 如权利要求1所述的一种增程器工作点优化方法,其特征是:运用多目标粒子群算法,综合考虑增程器的转速、转矩约束,对6目标函数模型进行优化求解,得到Pareto最优解集。

3. 如权利要求1所述的一种增程器工作点优化方法,其特征是:运用线性加权法,根据城市排放法规、道路状况和经济需求对6目标进行权重分配,获得增程器最优工作点,根据优化方案,把增程器优化运行工作点分为“经济、绿色、舒适、折中”四个区域。

## 一种增程器优化运行控制方法

### 一、技术领域

[0001] 本发明属于新能源动力汽车技术领域,具体涉及一种电动汽车用增程器优化运行控制方法。

### 二、技术背景

[0002] 面对日益严峻的气候和能源形势,电动汽车以其节能环保的巨大优势受到各国政府越来越多的重视。但是,当前动力电池存在价格高、能量密度低、充电时间长等问题,限制了电动汽车的大规模推广。在动力电池短期内不能获得较大性能提升的背景下,各种形式的混合动力汽车应运而生。其中,增程式电动汽车(extended range electric vehicle, EREV)作为纯电动汽车的过渡车型,以其效率高、电池容量小、续驶里程长等优点受到了广泛的关注。

[0003] 增程式电动汽车是一种纯电动驱动行驶的插电式串联混合动力汽车,其动力系统由动力电池、动力驱动装置以及增程器和整车控制系统组成。如图1所示,增程器本质上是可加装在纯电动汽车上的小型辅助动力单元(Auxiliary Power Unit:APU)。增程器由发动机、发电机、发电机控制器构成。增程器和整车直流母线直接相连,与整车不存在机械连接。其与传统燃油车相比,增程器发动机可控制在最佳工作状态,具有高效和低排放的特点;与纯电动汽车相比,增程式电动车所需电池容量小、成本低,且不会缺电抛锚;与强混合动力车相比,发动机与驱动系统没有机械耦合,避免了频繁工作模式切换。而且增程器的输出功率和电流可控,易采用更灵活的电池充放策略,有利于延长电池使用寿命。

[0004] 增程器运行优化控制,关键是要使增程器运行在最优工作点,以提高整车能量利用率,在满足整车动力需求和续航里程的前提下,提高整车的经济性、舒适性和环保性。这就需要对增程器的燃油特性、排放特性以及振动噪声特性进行合理控制。目前,针对增程器运行优化研究一般只考虑了单目标优化或双目标优化问题,例如有的只考虑燃油经济性,有的考虑燃油经济性和排放性,缺乏综合考虑燃油特性、排放特性和振声特性三个重要因素的优化控制方法。

### 三、发明内容

[0005] 本发明应用多目标粒子群算法和线性加权法,突破发动机工作点单参数或双参数优化限制,综合考虑发动机工作过程中的振动噪声、油耗和排放对增程器发动机实际运行工况影响,建立了多目标优化模型,同时结合增程器实际工作中机电约束,引入各参数权重因子,对增程器全局工作点进行优化。

[0006] 本发明通过以下技术方案实现:

[0007] 1.通过大量实验测量增程器的油耗率、HC排放、CO排放、NO<sub>x</sub>排放、机体振动烈度和辐射噪声声压级,利用测量数据绘制各单元的MAP图。

[0008] 2.根据实验数据采用双三次插值法,分别得到增程器的转速-转矩-油耗特性 $f_{FC}(n, T)$ 、转速-转矩-HC排放特性 $f_{HC}(n, T)$ 、转速-转矩-CO排放特性 $f_{CO}(n, T)$ 、转速-转矩-NO<sub>x</sub>

排放特性 $f_{NOx}(n, T)$ 。

[0009] 3. 根据实验数据运用二元多项式模型, 通过非线性回归的方法拟合增程器机体振动烈度 $V_s$ 和1m包络面辐射噪声声压级 $\overline{L_{PA}}$ 与增程器转速和转矩间的关系函数: $f_{V_s}(n, T)$ 、 $f_{\overline{L_{PA}}}(n, T)$ 。

[0010] 4. 增程器运行优化问题可以描述为含有 $f_{FC}$ ,  $f_{HC}$ ,  $f_{CO}$ ,  $f_{NOx}$ ,  $f_{V_s}$ 和 $f_{\overline{L_{PA}}}$ 6个目标函数, 以增程器转速 $n$ 和转矩 $T$ 为优化变量的最小化多目标优化问题, 即

[0011]  $\min F(n, T) = [f_{FC}(n, T), f_{HC}(n, T), f_{CO}(n, T), f_{NOx}(n, T), f_{V_s}(n, T), f_{\overline{L_{PA}}}(n, T)]$

[0012] 5. 考虑增程器转速、转矩机械约束, 增程器转速-转矩由发动机和发电机外特性共同决定。增程器最大转矩为发电机最大转矩和发动机最大转矩中的较小值, 增程器最小转矩为发电机最小转矩和发动机最小转矩中的较大值。增程器转速的约束于转矩约束同理。

[0013] 6. 应用多目标粒子群算法对增程器多目标优化模型进行寻优求解, 得到Pareto最优解集。应用线性加权法, 引入权重因子 $W$ , 根据对增程器油耗、排放、振动、噪声等6种优化目标的不同侧重, 确定6种优化目标的权重值 $W = (w_1, w_2, w_3, w_4, w_5, w_6)$ 。可以根据车辆的油耗、排放、振动和噪声测试结果有针对性的调整权重值, 使车辆油耗、排放和振动噪声性能达到相应标准要求, 也可以根据城市排放法规、道路状况和经济需求实时的调整权重值。

[0014] 7. 根据优化方案, 把增程器优化运行工作点分为“经济、绿色、舒适、折中”四个区域。其中“经济”代表增程器处于最低油耗工作区, 燃油权重因子“ $w_1$ ”占比最高; “绿色”代表增程器处于最低排放工作区, 排放权重因子“ $w_2, w_3, w_4$ ”占比最高; “舒适”代表增程器处于最小的振动、噪声工作区, 舒适权重因子“ $w_5, w_6$ ”占比最高; “折中”代表增程器处于综合工作区, 综合考虑燃油、排放和振动噪声。

#### 四、附图说明

[0015] 图1是本发明提供的电动汽车增程器装置示意图;

[0016] 图2是考虑油耗、排放、振声特性的多目标优化控制方法流程图;

[0017] 图3是增程器振动噪声特性map;

[0018] 图4是增程器排放特性map;

[0019] 图5是增程器最优工作区域分布情况。

#### 五、具体实施方式

[0020] 1. 针对某排量为1.2L, 峰值功率为45kw的自然吸气汽油发动机和峰值扭矩为120Nm, 额定功率为30kW的永磁同步发电机, 分别在不同的转速、转矩点上测量增程器的油耗率、HC排放、CO排放、NO排放、机体振动烈度和辐射噪声声压级, 利用测量数据绘制机体振动烈度MAP(如图3(a)所示)和辐射噪声声压级MAP(如图3(b)所示)。

[0021] 2. 根据实验数据采用双三次插值法, 分别得到增程器的转速-转矩-油耗特性 $f_{FC}(n, T)$ (如图4(a)所示)、转速-转矩-HC排放特性 $f_{HC}(n, T)$ (如图4(b)所示)、转速-转矩-CO排放特性 $f_{CO}(n, T)$ (如图4(c)所示)、转速-转矩-NOx排放特性 $f_{NOx}(n, T)$ (如图4(d)所示)。

[0022] 3. 运用二元多项式模型通过非线性回归的方法拟合增程器机体振动烈度 $V_s$ 、1m包络面辐射噪声声压级 $\overline{L_{PA}}$ 与增程器转速和转矩间的关系函数: $f_{V_s}(n, T)$ 、 $f_{\overline{L_{PA}}}(n, T)$ 。

[0023] 4. 增程器油耗、排放和振动噪声多目标优化问题可以描述为下式含有6个目标的函数,以增程器转速 $n$ 和转矩 $T$ 为优化变量的最小多目标优化问题,即

$$[0024] \quad \min F(n,T)=[f_{FC}(n,T), f_{HC}(n,T), f_{CO}(n,T), f_{NOx}(n,T), f_{V_s}(n,T), f_{LPA}(n,T)]$$

[0025] 其中增程器的转速和转矩受到以下条件约束:

$$[0026] \quad \begin{cases} T_{\min} = \max(T_{e\min}, T_{g\min}) \\ T_{\max} = \min(T_{e\max}, T_{g\max}) \end{cases}$$

$$[0027] \quad \begin{cases} n_{\min} = \max(n_{e\min}, n_{g\min}) \\ n_{\max} = \min(n_{e\max}, n_{g\max}) \end{cases}$$

[0028] 式中: $T_{\min}$ 、 $T_{\max}$ 和 $n_{\min}$ 、 $n_{\max}$ 分别为增程器的最高、最低转矩和最低、最高转速, $T_{e\min}$ 、 $T_{e\max}$ 和 $n_{e\min}$ 、 $n_{e\max}$ 分别为发动机的最低、最高转矩和最低、最高转速, $T_{g\min}$ 、 $T_{g\max}$ 和 $n_{g\min}$ 、 $n_{g\max}$ 分别为发电机的最低、最高转矩和最低、最高转速。

[0029] 整车控制器向增程器发出功率需求 $P_{cmd} \in R$ ,这里 $R$ 指整个增程器的机械特性所允许的全部转速、转矩区间,此时优化变量 $(n,T)$ 应满足

$$[0030] \quad \begin{cases} n_{\min} \leq n \leq n_{\max} \\ T_{\min} \leq T \leq f_{tm}(n) \end{cases}$$

[0031] 5. 分别应用多目标粒子群算法和线性加权法对增程器多目标优化模型进行寻优,基于多目标优化模型的Pareto最优解分布情况如图5(图中“+”)所示,图中还显示了最佳油耗点(图中“△”)、最佳排放点(图中“▽”)、最佳振动烈度点(图中“□”)和最佳辐射声压级点(图中“◇”)。当权重因子 $W=(0.4,0.1,0.1,0.2,0.1,0.1)$ 时,其最终解区域为图中“○”所示。

[0032] 有益效果:

[0033] 通过以上实施例可以看到,所提出的增程器优化运行控制方法综合考虑了增程式电动汽车在运行工程中的油耗特性、排放特性和振动噪声特性,能够根据实际需求调整权重因子来改善整车的燃油经济性、绿色环保性和乘坐舒适性。

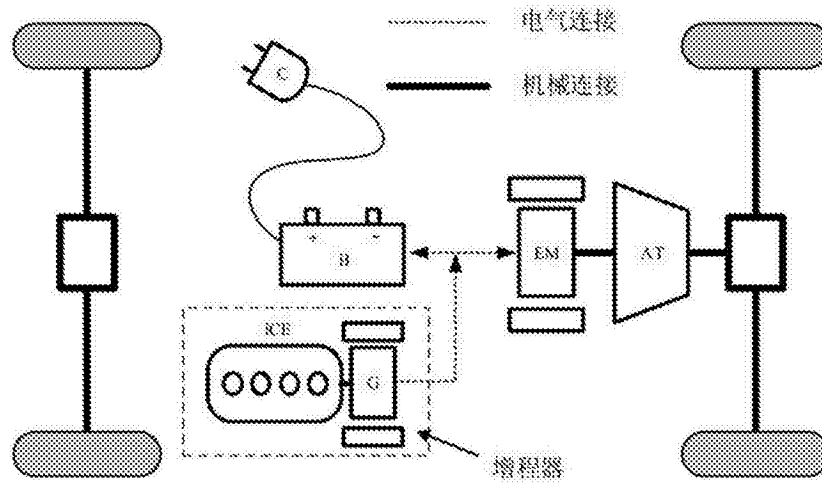


图1

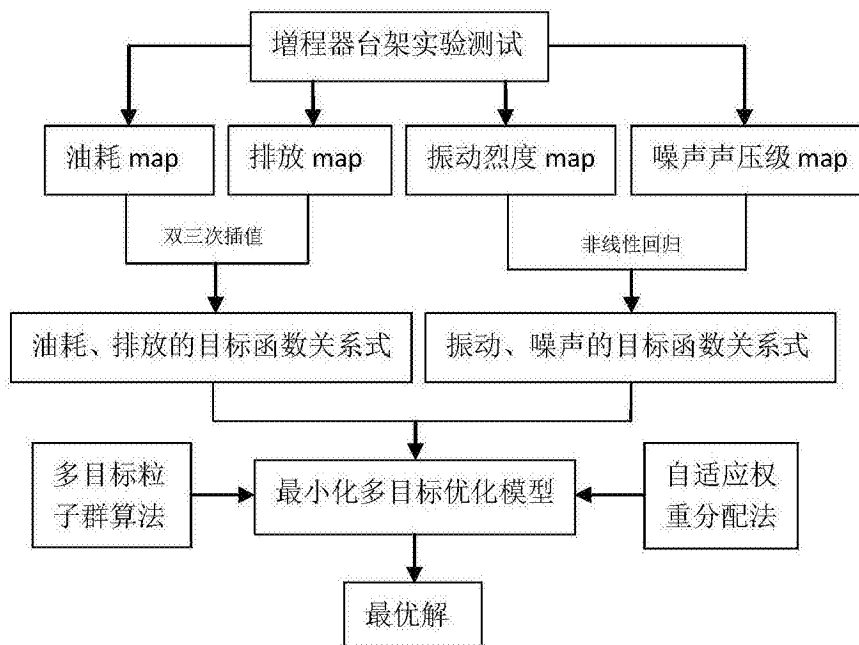


图2

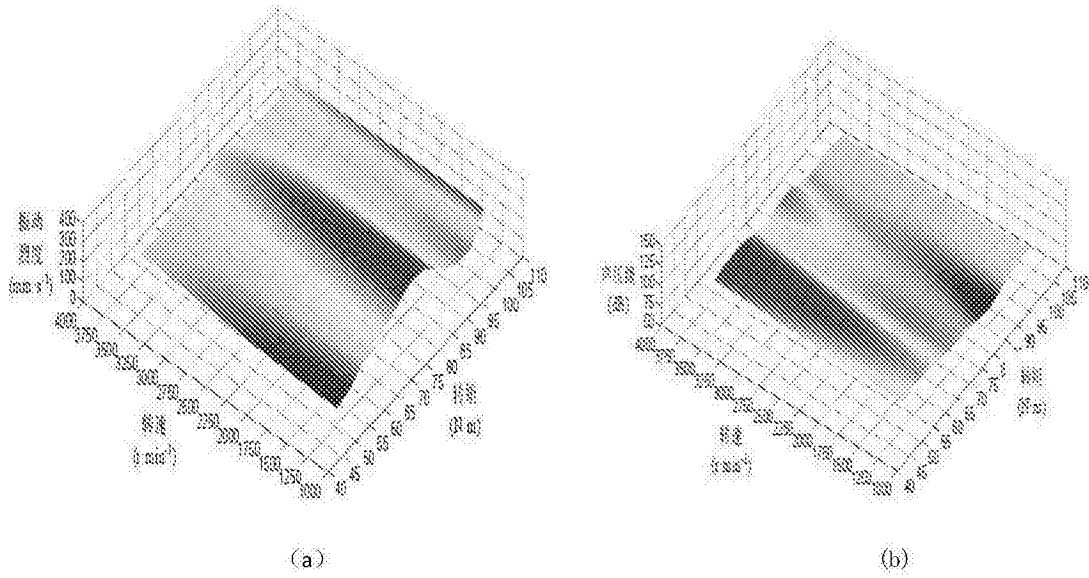


图3

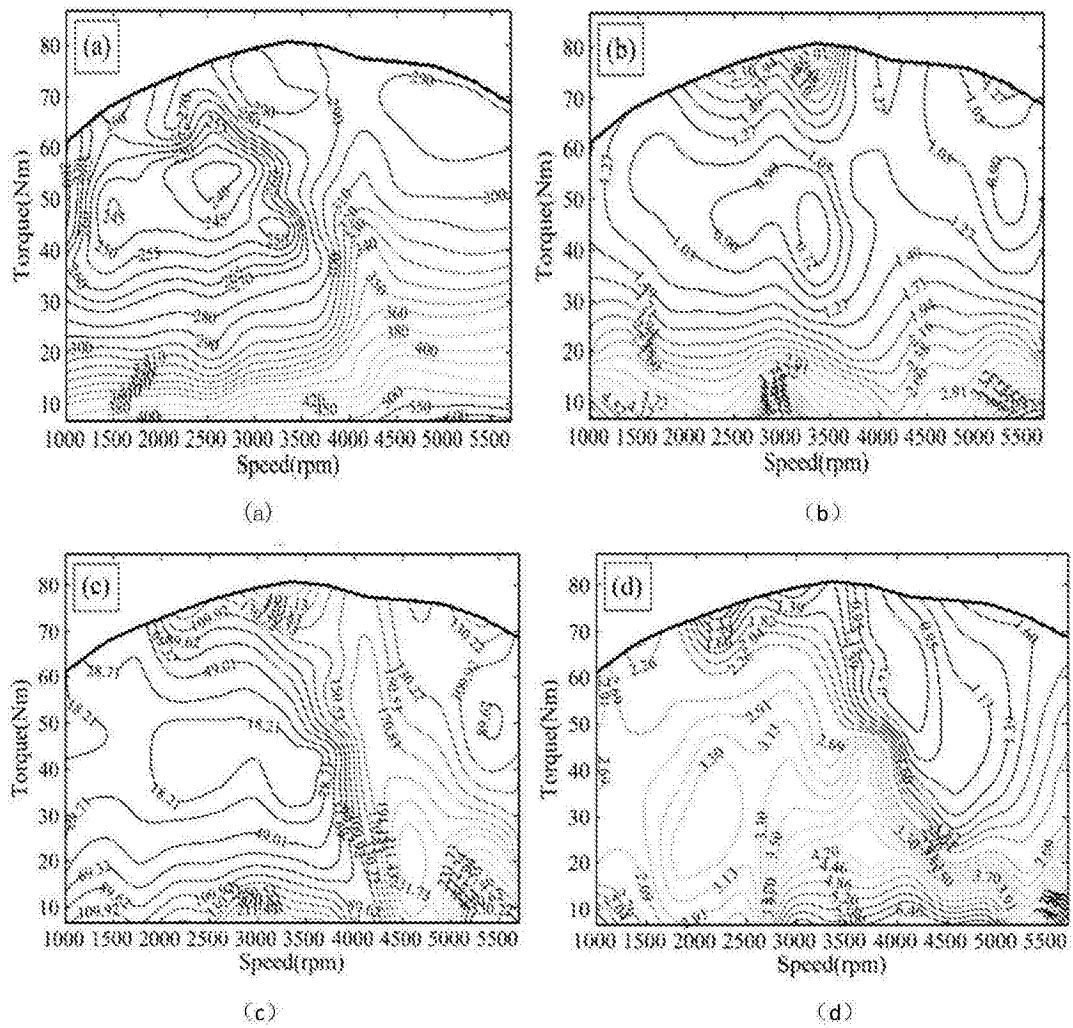


图4

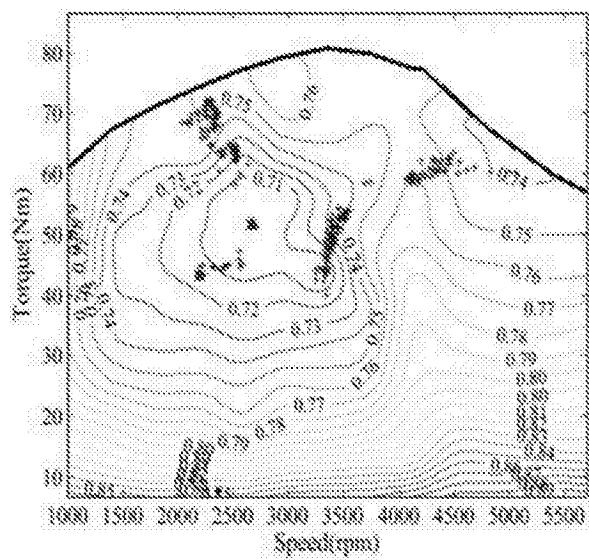


图5