

文章编号: 1002-0268 (2004) 03-0102-04

新型电源车动力控制系统设计

李 进, 李建秋, 周 明, 欧阳明高

(清华大学汽车安全与节能国家重点实验室, 北京 100084)

摘要: 电源车通常由载重车运装发电机组或拖挂移动电站组成, 机动性和经济性不好。为此设计了新的电源车动力系统。新方案采用液压系统作为发动机和发电机之间的连接通道, 使行车和发电可以共用一台发动机。文中分析该方案的结构和控制特点, 总结发动机和液压系统的协调控制逻辑。通过对控制逻辑的简化将发动机和液压系统控制解耦, 并以此为基础进行控制系统开发。最终的效果在实验台架上进行了验证。

关键词: 电源车; 动力系统; 协调控制

中图分类号: U469.79

文献标识码: A

Control Unit for a New Kind of Power Supply Vehicle

LI Jin, LI Jian-qiu, ZHOU Ming, OUYANG Ming-gao

(State Key Laboratory of Automotive Safety and Energy, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: A new kind of diesel power supply vehicle has been designed and will be introduced in this paper. With the help of a hydraulic system used to transmit torque from the engine to the generator, this kind of vehicle is more efficient and integrative than the traditional ones, which are often trucks with power station dragged or carried. The structure characteristics of the powertrain of this vehicle were analyzed. And then a control algorithm has been given, which is based on a coordinated control approach of the engine and the hydraulic system. After that, the control unit was developed and tested on the bench.

Key words: Power supply vehicle; Powertrain; Control unit

0 背景

所谓电源车, 就是要求车辆除了能够满足在正常行车载人载货的需求外, 还能够在停车时带动发电机给用电设备供电。对野外工作或军事上的一些用电设备, 由于电力系统的条件限制和自身工作特点的需要, 必须有自己携带的电源, 电源车正满足了这种需要^[1]。

传统的电源车通常采用拖挂式结构, 由柴油动力的运输车辆装载或拖挂发电机组构成, 在汽车停车驻扎时给用电设备供电。这样额外增加一个动力装置, 对民用而言不经济, 对军用而言也不满足机动灵活性的要求。为此提出了一个新的动力系统设计方案。采用液压系统作为发动机和发电机之间的连接通道, 使得行车和发电可以共用一台发动机。这样的布置使得汽车既可以运载人员、设备, 又能够在停车时发电。

从而减少了运行成本, 提高了机动灵活性。

1 系统结构与控制

1.1 整体布局与选型

新的动力系统方案如图 1 所示, 液压系统作为柴油机和发电机的中间纽带, 同时在柴油机的飞轮端加装取力器。柴油机发出的动力一部分经飞轮输出用于驱动车辆运行, 另一部分通过加装的取力器输出, 驱动液压系统从而带动发电机发电。

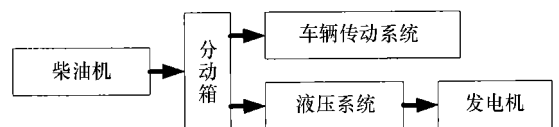


图 1 动力系统整体布局

液压系统采用了闭式循环结构, 如图 2 所示。液

压泵与柴油机飞轮端的取力器相连，液压马达与发电机相连。液压油在管路中循环流动，经液压泵后压力升高，驱动液压马达旋转，从而带动发电机发电。

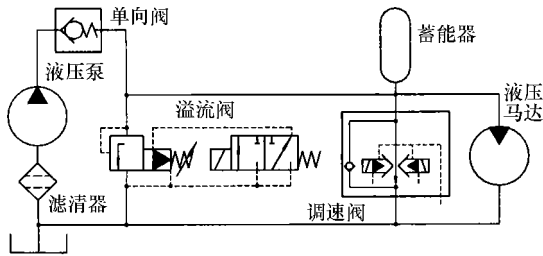


图 2 液压系统结构图

液压系统中电磁驱动二通调速阀与液压马达并联，通过对调速阀调节来控制旁通油量，以控制高压管路中传动液的压力并控制液压马达转速。在回路中还装有溢流阀起过压保护的作用；蓄能器用于储存能量，减少管路中的压力波动。

在新系统中，柴油机要同时满足行车和发电的双重需要，对扭矩和转速的控制要求更精确。传统的机械式调速器显然无法满足要求。因此选用了控制灵活且已经开发成熟的电子调速器^[3]。

采用图 1 所示的设计方案，为控制提供了更灵活的空间：在车辆停车时，通过对发动机和液压系统的协调控制，可以实现发电机稳定的转速输出，满足发电的需求；在行车时，在不过多影响行车性能的前提下，仍然可以从发动机中取出一小部分动力发电，满足基本的用电需要。后续的开发实验证明，在这样的硬件方案基础上，完全可以实现停车稳定发电和行车部分发电，最大限度的利用了车载发动机的潜力。同时液压元件的安装不受严格的空间位置限制，使得整车安装方便，结构简单。

1.2 系统状态分析

在进行系统结构设计和选型的同时，对动力系统的运行状态进行了分析。根据电源车的主要功能，其动力系统可以分为空车运行，停车发电和行车发电 3 种运行状态，如图 3 所示。

在状态的识别和转换过程中，需要综合考虑动力系统各个主要的特征参数如配电开关状态、驻车档位状态、发动机状态等等，以做出准确的判断和合理的控制。不同状态间的转换条件也可以用图 3 来概括。在图 3 中，“配电开关闭合”表示发电机开始对外输出电能，“配电开关打开”表示对外无电能输出；“驻车档位闭合”表示车辆处于驻车状态，“驻车档位打开”表示车辆脱离驻车状态。

根据上面的状态，对电源车动力系统的控制可以

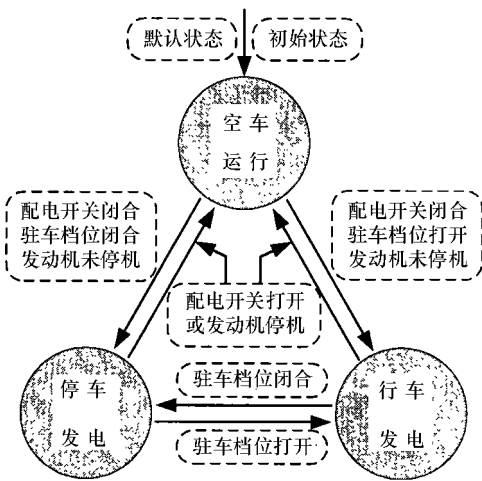


图 3 动力系统状态转换示意图

分为 3 部分：

- (1) 状态识别：根据动力系统当前的各种特征参数，判别系统处于哪种运行状态；
- (2) 状态控制：在不同的运行状态下，控制发动机和液压系统的运行，以满足行车或发电的需要；
- (3) 状态切换：判断状态间的切换条件，控制切换过程，保证动力系统的稳定。

1.3 协调控制逻辑

确定了动力系统几种主要的工作状态后，对每个状态下的控制目标进行了分析。车辆空车运行时，液压系统施加于发动机上的负载很小，发动机的输出动力全部用于驱动车辆行进。车辆处于行车发电状态时，发动机的输出扭矩一部分用于驱动车辆，另一部分通过液压系统驱动发电机发电，此时液压系统相当于一个额外负载。而在停车发电时，发动机的输出动力可以全部用于驱动发电机发电。

从上面的分析可以看出，在不同的状态下，发动机和液压系统的控制要求各不相同。为了获得高质量的电能输出，同时满足行车的需要，必需综合考虑发动机和液压系统的状态，通过对两者的协调控制，达到满意的控制效果。

根据动力系统状态分析的结果，结合对发动机和液压系统各种工况的分析，设计了如图 4 所示的协调控制框图。通过该框图实现了电源车在各种状态下的控制。

1. 空车运行的控制策略

电源车空车运行时，发动机输出动力全部用于车辆行进或载重。控制系统的主要任务在于实现发动机各种工况下的管理。如图 4 所示，其过程可以概括为：控制系统根据发动机的各种状态参数判断当前工况，并控制不同工况间的切换；根据工况进行起动、

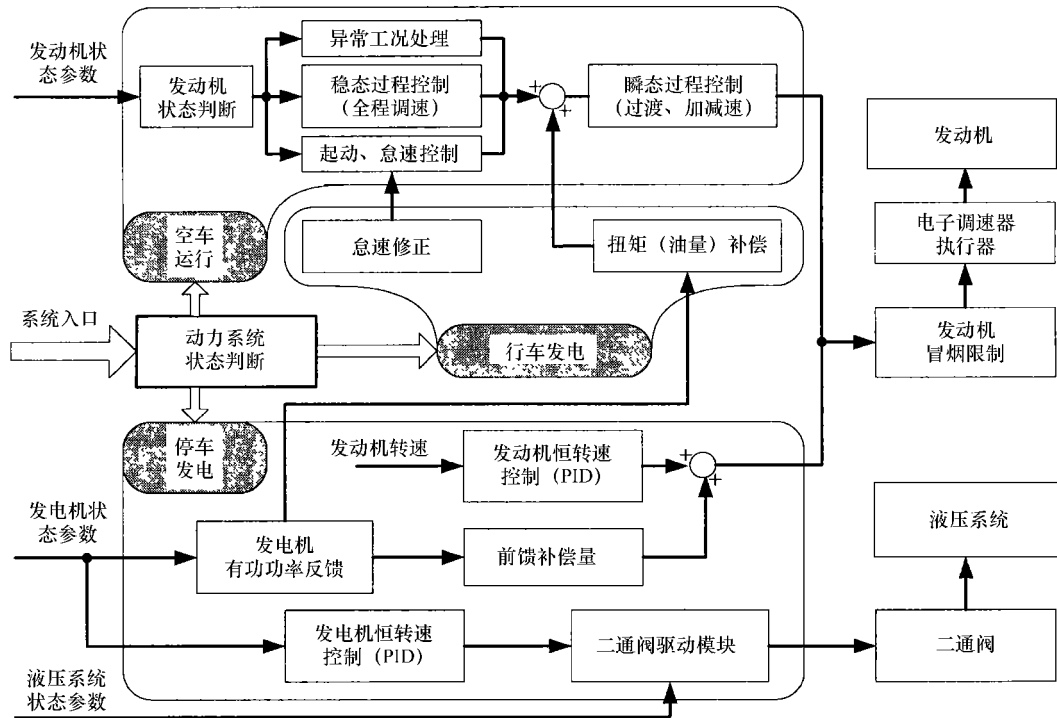


图 4 发动机与液压系统协调控制框图

怠速控制或者稳态调速过程控制，在发动机处于异常情况如超速或检测到故障时，进行相应处理以保证发动机安全运行；对发动机瞬态过程如加速减速过程进行控制，以降低排放同时提高燃油经济性；限制最终的输出油量不超过发动机冒烟限制线；通过执行器控制喷油泵齿条位置，以达到需要的输出油量。

2. 停车发电的控制策略

电源车停车发电时，发动机输出动力全部用于驱动液压系统以带动发电机发电。此时控制发动机在燃油经济性好的转速范围内恒转速运行，如图 4 所示。图中根据发电机的有功功率反馈量对发动机转速 PID 控制结果进行补偿，这是一种前馈控制方式，目的是为了提高发动机转速控制的精度。

停车发电时对液压系统的控制主要是调节二通阀的开度，以使发电机转速恒定，也采用了 PID 控制策略。

3. 行车发电的控制策略

电源车行车发电时，对于发动机来说控制任务是相似的，所不同的是多带了液压系统这个负载。且负载大小随输出电功率的变化而变化。它对发动机运行的影响体现在两个方面，一是使得行车时负载不断变化，因此需要对调速状态下的油量进行修正；二是使发动机怠速时也带上了一部分载荷，且载荷大小随输出电能的需要而变化，因此对怠速控制提出了更高的要求。综合上面的分析，行车发电时对发动机的控制

是在空车运行控制方式基础，加上怠速调整和扭矩补偿而成。

对液压系统的控制仍然以发电机的转速恒定为目标。所不同的是在行车发电时，一方面液压泵带动的回路流量随发动机的输出转速而不断变化，另一方面输出电能也随用电设备的多少而变化。对液压系统的控制需要综合考虑两方面因素的影响，通过调节调速阀开度快速响应输入和输出的变化，以保持电机转速的稳定。

1. 4 发动机与液压系统的解耦控制

通过以上分析，可以将动力系统的控制分为发动机管理和液压系统控制两个主要部分。

发动机管理的主要任务，一是要实现电子调速器的所有功能，即对起动、怠速、调速、瞬态、异常工况等的判断和控制以及故障诊断，二是要实现行车发电时的怠速修正和扭矩补偿。

液压系统控制的主要任务是保证发电机的恒转速运行。在车辆处于行车发电状态时，液压系统输入流量和输出扭矩都在时刻变化，使得恒速控制的难度加大。对恒转速提出了更高的要求。

将动力系统控制划分为两个充分解耦的部分，有助于提高开发效率，也有利于充分利用现有的开发技术和成果^[3,4]。后续的实验也证明，这样的控制方法，完全能达到预期的设计目标。在对于单部分的控制取得最优后，为了获得更高质量的电能输出，可以考虑

发动机和液压系统的综合控制。

2 台架实验验证

根据上面的控制策略分析，进行了发动机管理系统和液压系统控制模块开发，并在台架上重点进行了停车发电的实验验证。新型动力系统要求在停车发电时电能质量达到三级移动电站的标准，具体参数如表 1 所示。

柴油工频电站性能需求（三级）^[9] 表 1

指标	稳态调整率 (%)	瞬态调整率 (%)	稳定时间 (s)	波动率 (%)
电压	±3	±20	1	0.5
频率	3	±7	5	0.5

实验中采用了额定功率为 40kW 的同步无刷交流发电机，额定转速 1500r/min，输出电压 400V，频率 50Hz，装备有电压调整率为 ±2.5% 的电压调整器。发电机的电压调节性能满足 III 类电站标准要求，因此，主要对发电机的输出频率进行控制以达到表 1 的要求。

由于对电源车的最大功率需求为 20kW，因此进行动态加载实验时按照其 1/3 加减载（根据实验条件取为 6kW）。图 5 为发电机稳态运转时输出交流电频率。图 6 为 T_1 时刻突加 6kW 负载； T_2 时刻再加 6kW 负载的输出频率波动。

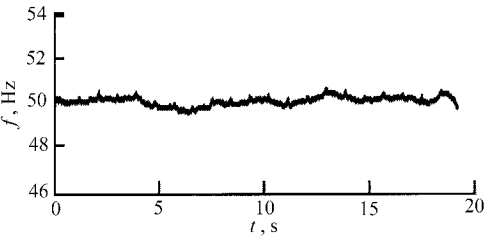


图 5 稳态工况输出频率

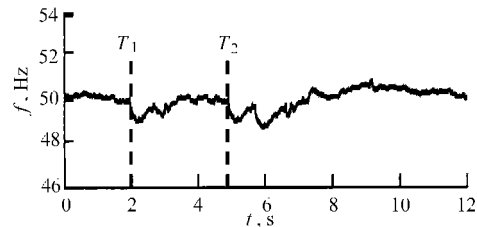


图 6 瞬态工况输出频率

从图 6 可以看出，电源车在两个不同的工况下，其瞬态调节时间都在 2s 以内，此后发电机的转速进入稳态调节。在两种工况下，发电机输出最大频率 $f_{\max}$ 、最小频率 $f_{\min}$ 、平均频率 $\bar{f}$ 以及相对于目标频率 f_0 （50Hz）的最大偏差 $\delta_{\max}$ 如表 2 所示。

电源车稳态和瞬态频率波动 表 2

工况	$f_{\max}$ (Hz)	$f_{\min}$ (Hz)	$\bar{f}$ (Hz)	$\delta_{\max}$ (%)
稳态	50.4	49.6	50	0.89
突加 2×6kW	50.7	48.9	50	2.1

$$f_{\max} = \max(f_{\max} - f_0, f_0 - f_{\min}) / f_0 \times 100$$

从上述试验结果可知，发电机稳定载荷工作和发电机突加/突减较大载荷时输出电能均能达到国家 III 类电站的标准。

3 结束语

新的电源车设计方案采用液压系统作为发动机和发电机间的连接通道，可以使行车和发电共用一个发动机，提高了系统集成度，降低了成本。通过对发动机和液压系统的控制，不仅使电源车在停车时的发电质量达到了三级移动电站标志，还使之具备了行车发电的基础，完全可以实现行车时的部分电能输出。

在该方案基础上设计的电源车，经济性和机动性与传统电源车相比都有很大提高。

参考文献:

[1] 胡玉贵, 栗彦辉. 军用移动电站需求分析 [J]. 移动电源与车辆, 2001 (1): 44—47.
[2] 夏胜枝, 李进, 周明. 液力传动在特种电源车上的应用 [J]. 液压与气动, 2002 (9): 27—30.
[3] 王延岭. 车用电控柴油机管理系统的开发 [D]. 北京: 清华大学汽车工程系, 1998.
[4] 王宏桥, 李进, 欧阳明高. 电控柴油机计算机实时仿真系统设计 [J]. 车用发动机, 2001 (4): 10—12.
[5] 中国国家标准汇编. 交通工频移动电站通用技术条件 (GB 2819-81) [S]. 中国标准出版社, 1981.