

DOI: 10.3969/j.issn.1001-3881.2009.09.034

基于液压机械复合传动的汽车再生制动研究

安敏, 郭京波, 张银彩, 乔丰立

(石家庄铁道学院机械分院, 河北石家庄 050043)

摘要: 介绍了研究再生制动技术的必要性, 绘出了液压机械复合传动系统图, 分析了再生制动技术的节能原理, 研究了再生制动系统的工作过程。分析表明再生制动是一种有效的节能方式。

关键词: 再生制动; 节能; 复合传动

中图分类号: U462 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3881(2009)9-102-2

Research of Vehicle Regenerative Braking System Based on Hydraulic Machinery of Composite Transmission

AN Min, GUO Jingbo, ZHANG Yincui, QIAO Fengli

(Department of Mechanical Engineering, Shijiazhuang Railway Institute, Shijiazhuang Hebei 050043, China)

Abstract: The necessary of researching regenerative braking technique was introduced, and the chart of hydraulic machinery of transmission system was presented. The energy-saving theory of regenerative braking was analyzed. The process of the regenerative braking system was studied. The regenerative braking technology is an effective way to energy saving.

Keywords: Regenerative braking; Energy saving; Composite transmission

由于汽车行业的迅速发展, 汽车能源消耗越来越严重。当石油、天然气、煤炭等不可再生资源的储备正日益枯竭的时候, 人类要最大限度地利用现有的能源。

在人口和车辆集中的城市, 汽车频繁启动和制动。在制动过程中, 汽车的动能经制动系统转换为热量损失掉, 而启动时又因需要较浓的混合气而使经济性下降, 排出的废气也加重环境污染。能源和环境已成为制约汽车工业发展的主要瓶颈^[1], 因此, 许多国家从20世纪80年代开始, 对汽车制动能量的回收和利用进行了研究和试验。

如果将车辆在减速制动过程中的动能进行回收并储存, 而在车辆起步加速时, 再把储存的能量释放出来, 作为驱动车辆行驶的动力, 那么可使发动机更长时间地在经济工况下运转。这样不仅有效降低汽车油耗, 提高动力性, 减少尾气排放, 还可延长制动器的寿命, 具有重要的实用价值。因此, 制动能量的回收既节约了能源又改善了城市环境。

1 再生制动系统

1.1 再生制动传动系统

再生制动的传动系统为复合式传动, 再生制动汽车又称为复合传动汽车。复合传动指的是传动系统中存在两种或两种以上的传动形式。例如机械-电力复合传动、液压-机械复合传动、液压-气压复合传动

等, 作者讨论的是液压机械复合传动, 即机械与液压的复合传动。

液压机械复合传动具有以下特点:

(1) 液压机械复合传动不仅能够实现系统的制动能量回收, 而且能量回收效率高, 可以把70%的制动能量返回到车轮上, 而一般电动混合动力系统返回车轮的能量只有约21%。

(2) 液压系统功率密度(即单位体积所具有的功率)大, 能使车辆克服高度惯性载荷时需要快速产生扭矩, 而且结构紧凑、质量轻。

(3) 液压传动平稳, 能实现无级调速, 且调速范围大、惯性矩小、变速性好。因此能实现高频率的变速、换向。

(4) 能储存发动机剩余的能量, 提高发动机的利用率。

(5) 可实现无功耗制动, 减少制动系统的发热, 延长制动系统的寿命。

(6) 可使发动机处于经济区工作, 减少了发动机废气的排放。

(7) 液压蓄能器可在短时间内吸收较大的瞬时功率, 因此提高了制动能量回收率, 这是蓄电池储能不可比拟的。

(8) 液压蓄能器能提供较大的瞬时功率, 而发动机仅提供系统的平均流量, 从而可增加发动机的后

收稿日期: 2008-09-05

基金项目: 河北省自然科学基金委员会项目(E2007000666)

作者简介: 安敏, 女, 硕士, 电话: 15931125382, E-mail: angirluo@163.com。

备功率。

(9) 液压蓄能器能长期储存能量，而这点正是飞轮储能不能实现的。

以上特点表明了液压机械复合传动在再生制动技术研究方面具有巨大的优势和潜力。

1.2 液压机械复合传动系统

再生制动的传动系统，一般分为并联式、串联式和混联式传动系统^[2]。通常由能量双向转化装置、蓄能器等组成。

作者所采用的系统结构如图1所示，是基于传统结构的并联式驱动系统。它由两套动力系统组成：第一路为发动机的动力通过离合器传递至传动系统，与传统的汽车结构一致；第二路为液压驱动系统，能量经蓄能器、液压泵/马达、传动轴传递。这两套动力系统可单独使用也可同时使用。

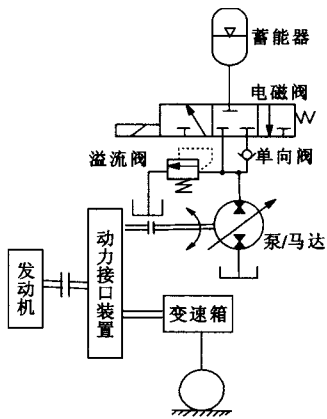


图1 液压机械复合传动系统结构图

液压机械复合传动

系统的工作由控制系统控制，图2为控制系统单元，传感器接收信号，然后控制系统输出信号执行相应的工作。控制系统上部虚线为输入信号，下部为输出信号，即执行动作。液压机械复合传动系统在汽车制动时回收制动能，并将之转换成液压能储存，汽车启动或加速时，把液压能转换成车辆的机械能驱动车辆。

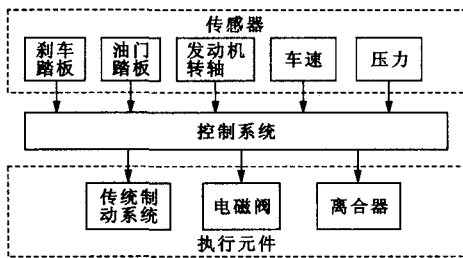


图2 控制系统单元

液压机械复合传动系统工作过程可分为制动能量回收过程、制动能量释放过程和系统闲置状态，以下将针对不同的工况分别介绍。

2 制动能量回收过程

汽车制动时，控制系统检测刹车踏板所处区间，由传感器测试蓄能器回路的压力值，如果压力低于设定值，控制系统发出输出信号，控制电磁阀由中位切换为左位即泵工况，同时控制系统输出信号使离合器闭合，车辆的惯性产生的力矩驱动液压泵工作，高压液压油通过单向阀和三位逻辑换向阀的左位进入蓄能

器，这样汽车制动时的能量转换成液压能储存起来。如果蓄能压力低于最高压力设定值，则一直处于储能状态中，如果压力高于压力最高设定值时，则溢流阀打开，让油直接流入油箱。

根据汽车的行驶状况，制动过程大致分为3种情况：紧急刹车、中度刹车和下坡刹车。

(1) 紧急刹车过程。控制系统检测制动踏板超过某个值时，且持续时间大于某设定值时，判断为紧急刹车，此时传统机械制动器处于工作状态，同时液压机械复合传动系统也处于泵工作，回收制动能量。由于紧急制动过程非常短，因此能够回收的动能比较少。

(2) 中度刹车过程。中度刹车即一般制动，控制系统检测制动踏板所在区间，判断为一般制动，通过速度传感器测试速度，如果速度大于设定值时，且检测蓄能器压力低于压力最高值时，控制系统输出信号使传统机械制动器不工作，使液压机械复合传动系统处于泵工作状态，回收制动能量。控制系统一直检测蓄能器的压力，传感器不断检测速度，一旦达到某设定压力值，离合器分离，传统机械制动器工作。如果压力没有达到设定值，但速度传感器低于某设定值时，传统机械制动器工作，完成停车。如果蓄能器压力大于设定压力值时，控制系统使离合器分离，液压机械复合传动系统停止工作，传统机械制动器工作。

(3) 下坡刹车过程。汽车下坡时制动力很小，能量回收系统负责全过程。制动踏板在某个区间，液压机械复合系统处于泵工作，回收能量。在此过程电控单元不断检测蓄能器压力和速度传感器，如果在某时间段速度几乎不减，可视为下坡刹车，如果蓄能器压力值达到最高压力值时，泵停止工作，机械制动器开始工作。

3 制动能量释放过程

当汽车起步或加速时，控制系统检测油门开启，同时检测蓄能器的压力。如果压力大于某设定值，输出信号控制三位逻辑换向阀右位即马达工况，同时离合器闭合，高压油经过三位逻辑换向阀右位驱动马达工作，此时液压能变为马达的动能，驱动主轴转动。

汽车行驶工况分为起步过程和加速过程。

(1) 起动过程。汽车起动时，如果压力大于某设定值，液压机械复合传动系统用蓄能器中的液压能直接驱动汽车，当汽车达到某一速度时，蓄能器停止工作，来自发动机的能量驱动汽车。如果汽车没有达到设置速度，控制系统检测蓄能器的压力值低于某值时，发动机驱动汽车。

(2) 加速过程。汽车在行使过程中，控制系统时刻检测油门踏板的位置，同时检测蓄能器的压力值，

(下转第204页)

$[J]\dot{\theta}$

矩阵 $[J]$ 称为雅可比矩阵。雅可比矩阵发生奇异

$$\begin{bmatrix} (l_4 + l_5)(C_1S_2C_3 - C_1C_2C_3) - (l_3C_1C_2 + l_2C_2) & (l_4 + l_5)(S_1C_2C_3 + S_1S_2S_3) + l_3S_1S_2 & -(l_4 + l_5)(S_1S_2S_3 + S_1C_2C_3) \\ -(l_4 + l_5)(S_1C_2S_3 + S_1S_2C_3) - (l_3S_1C_2 + l_2S_1) & -(l_4 + l_5)(C_1S_2S_3 - C_1C_2C_3) - l_3C_1S_2 & (l_4 + l_5)(C_1C_2C_3 - C_1S_2S_3) \\ 0 & (l_4 + l_5)(C_2S_3 + S_2C_3) + l_2C_2 & (l_4 + l_5)(S_2C_3 + C_2S_3) \end{bmatrix}$$

根据仿真计算当 $\theta_1 = 315^\circ$, $\theta_2 = -7^\circ \sim 190^\circ$, $\theta_3 = 16.32^\circ \sim 150.87^\circ$ 的取值范围内, 雅可比行列式不为 0, 即雅可比矩阵没有发生奇异, 所以装卸机器人在这个取值的活动内不存在盲区。

3 仿真结果

通过设计计算和计算机进行 PTP 的轨迹规划仿真试验, 仿真程序如图 4 所示, 其仿真曲线如图 5 所示。

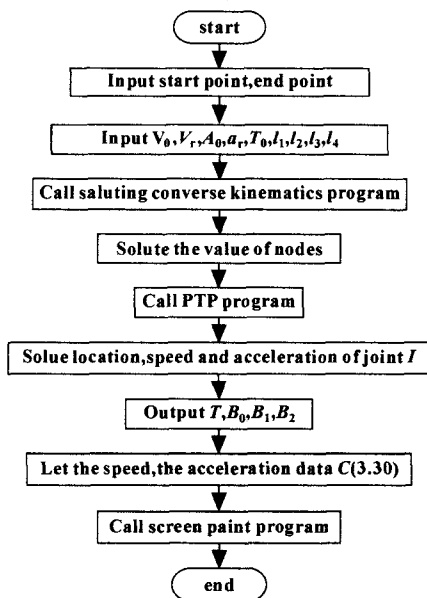


图 4 轨迹规划仿真全程序框图

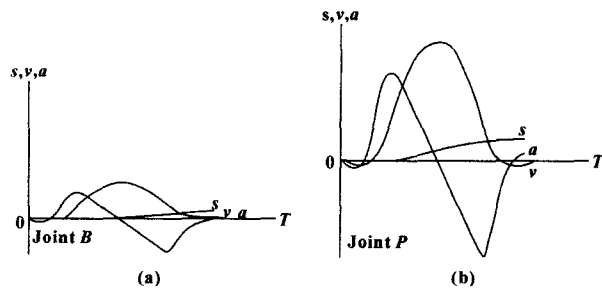


图 5 位置、速度、加速度轨迹仿真曲线

4 结束语

对机器人轨迹规划的数学模型和工作空间的研究已成功地应用于装卸机器人中, 通过设计计算和计算机进行 PTP 的轨迹规划仿真, 其仿真结果和实际运行的轨迹一致, 证明所采用的数学模型和工作空间是可行的, 正确的, 并且可用于同类的机器人设计中。

参考文献:

[1] 牧野洋, 谢存禧. 空间机构及机器人机构学[M]. 北京,

时, 其条件是雅可比行列式为 0。由式 (2) 得到雅可比行列式为:

机械工业出版社, 2007.

[2] 赵德安, 许建中, 李金伴, 等. 装箱机械手及其控制系统设计[J]. 江苏工学院学报, 1989(4).

[3] A. J. Critchlow. Introduction to Robotics[M]. New York: Macmillan Publishing Company, 1999.

(上接第 103 页)

如果达到要求, 发出信号, 复合传动系统处于马达工况, 发动机和复合传动系统的液压储能装置共同驱动汽车, 使汽车加速。

4 系统闲置状态

根据实际系统和汽车行驶情况, 将液压机械复合传动系统的液压系统不工作的状态, 分为制动闲置状态、启动/加速闲置状态和恒速闲置状态。

(1) 制动闲置状态。刹车板时, 控制系统检测蓄能器压力已达到最大值, 离合器处于分离状态, 传统机械制动器工作, 系统不回收制动能量, 此时的制动能量象传统制动一样浪费掉了。

(2) 启动/加速闲置状态。控制系统检测油门工作, 且蓄能器压力低于某设定值时, 离合器处于分离状态, 只是发动机工作, 系统不释放能量。

(3) 恒速闲置状态。控制系统检测油门、制动踏板都不工作, 速度传感器检测结果几乎恒值, 离合器处于分离状态, 只是发动机工作, 系统不工作。

5 结论

作者采用的液压机械复合系统并联结构方案, 几乎没有改变汽车的传动结构, 只是在原来传统的基础上并联了液压传动系统, 其主要功能是回收制动能量。此种方案简单易行, 很好地完成制动能量的回收, 节约了能源, 降低了废气的排放, 减轻了机械摩擦制动产生的磨损。因此, 再生制动汽车是当前汽车发展的方向。

参考文献:

[1] 搜狐汽车. 汽车与噪声污染[EB/OL]. <http://auto.sohu.com/20060914/n245344494.shtml>. 2006-09-14.

[2] 谭晓. 液压技术在混合动力汽车节能方面的应用[C]//中国力学学会学术大会 2005 论文摘要集. 北京, 2005.

[3] 詹迅. 轻度混合动力汽车再生制动系统建模与仿真[D]. 重庆: 重庆大学, 2005. 4: 19-20.

[4] 张力平. 液压传动系统设计[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005. 8: 42-48.

[5] 任国军. 公共汽车制动能量再生的液压储能技术研究[D]. 淄博: 山东理工大学, 2006. 4: 24.