

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2015.04.025

基于AMESim的新型油电液混合动力系统的仿真分析*

张 磊,傅明星*,王 瑜

(陕西理工学院 机械工程学院, 陕西 汉中 723001)

摘要: 针对载重汽车燃油消耗量大、启动力矩不足和启动速度慢等缺点,对油电液混合动力系统的节能原理和工作方式等方面进行了研究,提出了将油电液混合动力技术应用到载重汽车上,基于逻辑门限控制策略改变汽车的驱动方式,并根据车辆动力学原理,在AMESim平台上建立了其仿真模型,结合实际情况对系统参数进行了设置。仿真结果表明,油电液三元混合动力系统在车辆的驱动性和燃油经济性方面有显著提高,相比于传统车辆节约油耗约为27.9%。该仿真结果对于以后油电液混合动力汽车的节能研究具有一定的参考价值。

关键词: 载重汽车; 油电液混合动力技术; AMESim; 节能

中图分类号: U463; TP273 **文献标志码:** A

文章编号: 1001-4551(2015)04-0561-06

Simulation and analysis of electro-hydraulic hybrid system based on AMESim

ZHANG Lei, FU Ming-xing, WANG Yu

(School of Mechanical Engineering, Shaanxi University of Technology, Hanzhong 723001, China)

Abstract: Aiming at the problem in high consumption of fuel oil, large starting torque and starting slowly in the truck, the energy saving principle and working mode of electro-hydraulic hybrid system were investigated, and electro-hydraulic hybrid technology was put forward to apply to the truck. Vehicle driving mode was changed according to logic threshold control strategy, and the simulation model was established on AMESim according to the vehicle dynamics model. The parameters of the system were established according to the actual conditions. The simulation results show that the electro-hydraulic hybrid system has improved significantly in the driving performance and fuel economy of the vehicle. Compared with the traditional vehicle, electro-hydraulic hybrid system has saved fuel consumption about 27.9%. The simulation results will be a certain reference value for the later research of electro-hydraulic hybrid car in energy saving.

Key words: heavy-duty truck; electro-hydraulic hybrid technology; AMESim; energy saving

0 引 言

1886年第一辆汽车诞生,自此的一个多世纪中,汽车作为一种新的交通运输工具在人们的日常生活中起到了至关重要的作用^[1],与此同时,对于汽车动力源的研究也成为了主要的研究对象。因此,油电混合

动力技术和液压混合动力技术也就应运而生,国内外的研究者们对油电混合动力系统的研究主要集中在BSG传动以及ISG与电机混合驱动,包括中低度混合动力^[2](BSG、ISG+离合器+MT)、ISG+AT、ISG+CVT和ISG+行星齿轮^[3]等混合动力技术。液压混合动力系统的研究在动力性^[4]和尾气排放包括节油率^[5]等方面也已经取得突破。孙辉等^[6]对串联式液压混合动力汽车

收稿日期: 2014-12-15

基金项目: 陕西理工学院研究生创意基金资助项目(SLGYCX1425)

作者简介: 张 磊(1990-),男,河南周口人,主要从事混合动力、自动控制、机械电子工程方面的研究。E-mail:1515782527@qq.com

通信联系人: 傅明星,男,教授,硕士生导师。E-mail:460399112@qq.com

传动系统做出分析。但是,就目前而言,混合动力技术大多应用于中小型车辆,在大型重载车上应用的很少,鉴于载重汽车的工作路况和环境,其与中小型车辆相比,燃油消耗和能量的损耗要大很多,目前我国载重汽车种类少,技术落后^[7],发展高效节能的载重汽车就成为我国在当今社会能源短缺的背景下所必须解决的一项重要问题,因此,对于混合动力在重载车辆上的研究尤为必要。

目前,对于混合动力的研究主要集中在油电混合以及液压混合动力系统上,对于具有高功率的制动能量以及启停频繁的载重汽车而言,两种动力源相结合的混合动力系统难以满足其特殊需求,因此,笔者结合油电混合动力和液压混合动力各自的优缺点,设计油电液三元混合动力系统,该系统的核心思想是小配发动机,改变驱动方式,以发动机工作在最佳状态来节省油耗。

1 混合动力系统节能原理及模式

1.1 节能原理

混合动力是指由两种或两种以上的动力源组成的动力系统^[8],传统混合动力主要分为油电混合、液压混合两种方式^[9],相对于单一的动力源来说,例如发动机,如果单一的使用发动机作为汽车的动力源,使之完成汽车的起动、加速、爬坡等动作,不能保证发动机时刻保持在高效率、低油耗的状态,因此,对于混合动力来说,在汽车工作在不同状态的时候,分别由不同的动力源来驱动,可保证各个动力源都能工作在各自的高效率状态。

对于油电混合动力系统来说,仅仅利用蓄电池作为辅助能源联合发动机驱动车辆,则系统对蓄电池的要求必然很高,另外,蓄电池成本高、寿命短,导致车辆的维护费用过高,对于大型载重汽车而言,在车辆加速、爬坡时,由于蓄电池功率密度小,不仅难以满足其功率需求,而且在能量回收时,效率较低,有人提出液压混合动力。利用液压蓄能器替代蓄电池,液压蓄能器功率密度大、响应快,能量回收效率高,并且寿命长,不会对环境产生污染。但是由于液压混合动力系统中仅仅依靠高压蓄能器存储汽车制动能量,有可能导致系统压力过高,造成一定的危险,另外,由于液压蓄能器中的能量释放速度快,有可能影响到汽车的整体性能和驾驶的舒适性。鉴于两种混合动力系统的优缺点,本研究提出了油电液三元混合动力系统,将蓄电池和液压元件联合发动机一起驱动车辆,利用蓄电池较好的“中长跑”能力和液压元件较好的“短跑”能力,既弥补了蓄电池回收能量低,又弥补了液压元件可靠性

低的缺点,综合利用二者的优点,既保证了车辆良好的动力性能,又提升了车辆的节能效果。总体来说,三元混合动力的基本思想是综合利用内燃机、液压技术和电动机三者各自的优点,从而达到 $1+1+1>3$ 的效果^[10-11]。

1.2 工作模式

油电液混合动力系统主要包括:发动机、ISG电机、蓄电池组、液压泵/马达、液压蓄能器、变速器、离合器等。系统的结构图如图1所示。

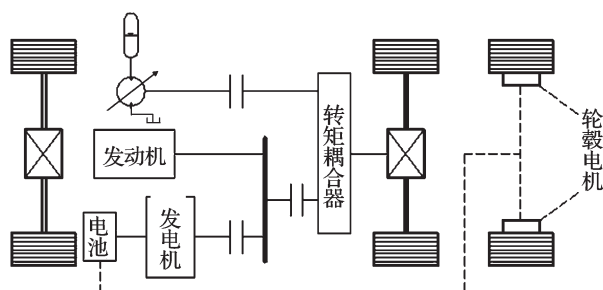


图1 油电液混合动力系统结构简图

车辆在启动时,发动机优先给液压蓄能器蓄能,使得蓄能器达到正常工作压力,保证车辆行驶的稳定性。加速爬坡阶段,根据路况信息、蓄能器压力、电池SoC等参数确定其驱动方式,保持发动机工作在最佳状态。在减速和下坡时,液压泵/马达处于泵工作状态将制动动能转化为液压能储存,电动机吸收发动机和传动轴怠速功率,给蓄电池充电,达到节能目的。

基于油电液混合动力系统的结构图在AMESim平台下搭建系统的仿真模型如图2所示。

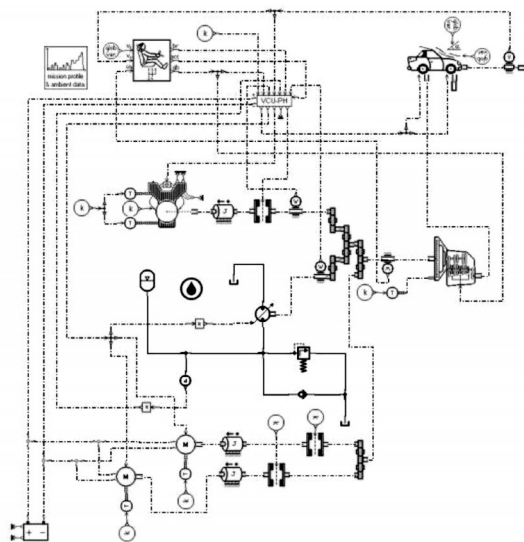


图2 油电液混合动力系统的AMESim模型

—车辆的行驶工况模型; —驾驶员模型;
—系统控制器模型; —发动机模型; —液压蓄能器模型;
—变速器模型; —液压泵/马达模型。

该系统选用逻辑门限控制策略,其控制流程图如图3所示。

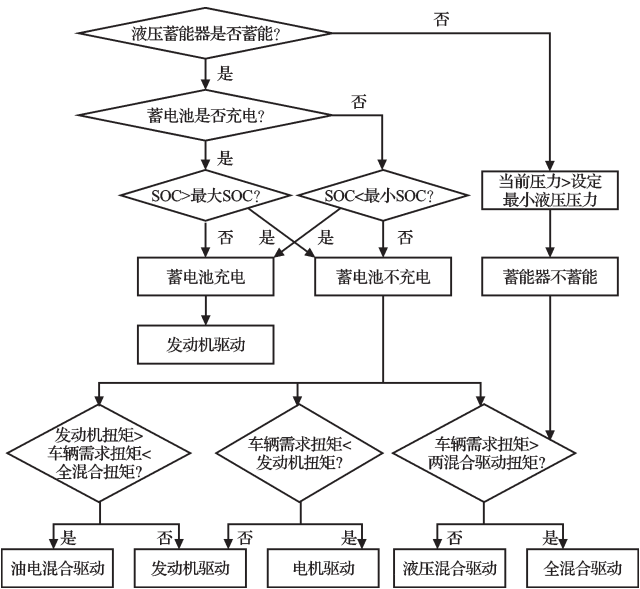


图3 油电液混合动力系统控制流程图

系统控制器通过检测液压蓄能器和蓄电池的状态来判断是否需要蓄能和充电,根据车辆需求扭矩的大小选取不同的混合方式。基于其控制流程图制定了油电液混合动力汽车的工作模式,油电液混合动力汽车的工作模式如表1所示。

该系统采用逻辑门限值控制策略制定其工作模式,当车辆要求扭矩较低或在车辆低速行驶时,如果此时蓄电池能量满足,车辆工作在电动机驱动模式。

当车辆所需扭矩大于发动机所能提供的最大扭矩时,车辆工作在混合驱动模式。混合驱动模式又分为油电混合驱动、液压混合驱动和全混合驱动。基于液压蓄能器功率密度大的特点,因此在车辆起步时,系统采用液压混合驱动模式,当车辆长时间处于中高速行驶时,系统采用油电混合驱动模式,当车辆处于爬坡或加速行驶时,系统采用全混合驱动模式。

2 系统各个模块的数学建模

三元混合动力系统的主要元件包括发动机、液压泵/马达、液压蓄能器、轮毂电机、蓄电池,它们的数学模型及参数如下。

2.1 发动机

发动机是汽车的核心动力装置,由于发动机特性的高度非线性,因此对发动机的真实模型建立很复杂,本研究在对三元混合动力系统的研究中,只关心发动机模型的输入与输出关系,因此可以根据发动机的万有特性曲线得出发动机的输出功率为:

P_e = \frac{1}{3600\eta} \left(mg\mu v + \frac{C_d A v^3}{21.15} \right) \lambda \tag{1}

式中: P_e—发动机功率, η—传动系功率, m—车辆总质量, μ—轮胎滚动阻力系数, v—轮胎滚动阻力系数, C_d—空气阻力系数, A—车辆迎风面积, λ—功率裕量系数。

2.2 液压泵/马达

在三元混合动力系统中,液压泵/马达为可逆元

表1 油电液混合动力汽车的工作模式

	发动机	电机	液压泵/马达	能量流向	工作描述
起步	驱动	—	驱动	发动机→离合器→变速器 油门踏板→ECU→转矩合成器→驱动桥→车轮 蓄能器→泵/马达→离合器	车辆在起步时,启动力矩较大,由于小配发动机的原因,发动机功率较小,不足以提供车辆起步时所需的力矩,则需要由液压部分辅助发动机驱动车辆起步。
低速行驶	—	驱动	—	油门踏板→ECU→转矩合成器→驱动桥→车轮 制动踏板→ECU→转矩合成器→驱动桥→车轮 电池→电机→离合器	在车辆低速行驶时,关闭发动机,由电动机单独驱动车辆行驶。
加速/爬坡行驶	驱动	驱动	驱动/—	发动机→离合器→变速器 油门踏板→ECU→转矩合成器→驱动桥→车轮 制动踏板→ECU→转矩合成器→驱动桥→车轮 电池→电机→离合器	在车辆加速或爬坡时,由于所需力矩较大,则发动机启动,由发动机和电动机联合驱动车辆。
减速和制动	—	发电	蓄能	蓄能器←泵/马达←离合器 制动踏板→ECU→转矩合成器←驱动桥←车轮 电池←发电机←离合器	在车辆减速和制动时,关闭发动机,优先给液压蓄能器蓄能,剩余能量通过发电机转化为电能储存在蓄电池中。

件,在驱动工况下,液压蓄能器释放液压油带动泵旋转,从而驱动车辆行驶,此时液压泵/马达作为泵使用;在制动工况下,可逆元件泵/马达将油箱的液压油压入到高压蓄能器中,此时液压泵/马达作为液压马达使用。

液压泵/马达的输出功率为^[12]:

$$P_{\frac{p}{m}} = T_{\frac{p}{m}} \omega_{\frac{p}{m}} = \frac{Fr}{i_b i_o \eta_T} \omega_{\frac{p}{m}} = \frac{Fv}{\eta_T} \quad (2)$$

式中: F —需求总力, r —轮胎半径, i_b —转矩耦合器速比, i_o —主减速器速比, η_T —传动效率, $\omega_{\frac{p}{m}}$ —泵/马达转动角速度, $T_{\frac{p}{m}}$ —泵/马达的转矩。

2.3 轮毂电机

轮毂电机的传动功率为^[13]:

$$P_d = T_d \omega_d = \frac{Fr}{i \eta_T} \omega_d = \frac{Fv}{\eta_T} \quad (3)$$

式中: ω_d —电机转动角速度。

2.4 液压蓄能器

蓄能器的数学模型为^[14]:

$$P_0 v_0^n = P_1 v_1^n = P_2 v_2^n \quad (4)$$

式中: P_0 —皮囊工作前的充气压力, P_1 —蓄能器工作前压力, P_2 —蓄能器工作后压力, v_0 —皮囊工作前的充气压力, v_1 —皮囊工作前体积, v_2 —皮囊工作后体积。

若假定车辆在平直路面行驶,此时车辆的损失能量和回收能量分别为:

$$E_1 = mgs + \frac{C_D A}{21.15} (v_1 - at)^2 \quad (5)$$

$$E_2 = -\int_{v_1}^{v_2} p dv = -\int_{v_1}^{v_2} p_1 \left(\frac{v_1}{v} \right)^n dv = \frac{p_1 v_1^n}{n-1} (v_2^{1-n} - v_1^{1-n}) =$$

$$\frac{p_1 v_1}{n-1} \left[\left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{1-n}{n}} - 1 \right] \quad (6)$$

式中: E_1 —损失的能量, E_2 —回收的能量, f —摩擦因数, s —车辆运行距离, P —蓄能器总压力, n —气体多变指数。

2.5 蓄电池

电池容量 Q_u 是蓄电池的重要参数,它与温度 τ 、电流 i_a 和放电时间 t 成函数关系^[15]:

$$Q_u(i_a, t, \tau) = Q_\tau(\tau, i_a) - \int_0^t i_a(t) dt \quad (7)$$

3 仿真分析

3.1 系统仿真参数

本研究用 AMESim 软件搭建油电液混合动力整车的仿真模型,其仿真参数如表2所示。

基于以上参数,本研究在 AMESim 中进行仿真分析,仿真结果如图4所示。

表2 油电液混合动力汽车的基本参数

部件	参数名称	参数值
整车	整车质量/kg	30 000
	车轮半径/m	0.5
	阻力系数	0.01
	风阻系数	0.32
蓄能器	迎风面积/m ²	10
	容积/L	70
	充气压力/MPa	36
	最大压力/MPa	60
液压泵/马达	排量/(ml·r ⁻¹)	150
蓄电池	电压/V	300

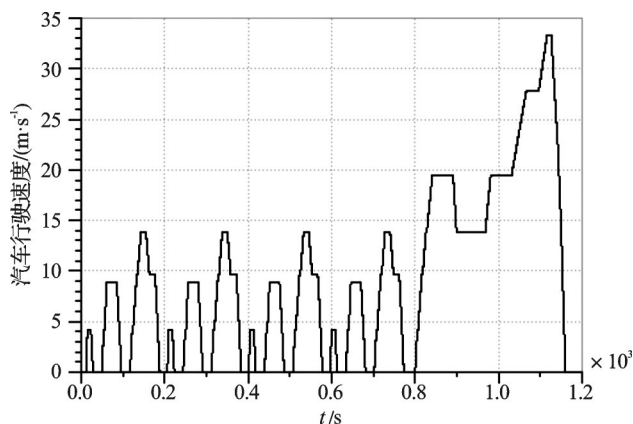


图4 车速运动工况

3.2 仿真结果分析

油电液混合动力汽车与传统混合动力汽车发动机输出扭矩的变化曲线如图5所示,从图5中可以看出,在相同的运动工况下,油电液混合动力汽车的发动机输出扭矩相比于传统混合动力汽车发动机的输出扭矩要低,这样,对于载重汽车而言,由于有电动机部分和液压部分的共同扭矩输出,不需要配备大功率的发动机,从而达到小配发动机的目的。不仅如此,在油电液混合动力汽车中,发动机的工作时间更短,这样既延长了发动机的寿命,又降低了燃油消耗。

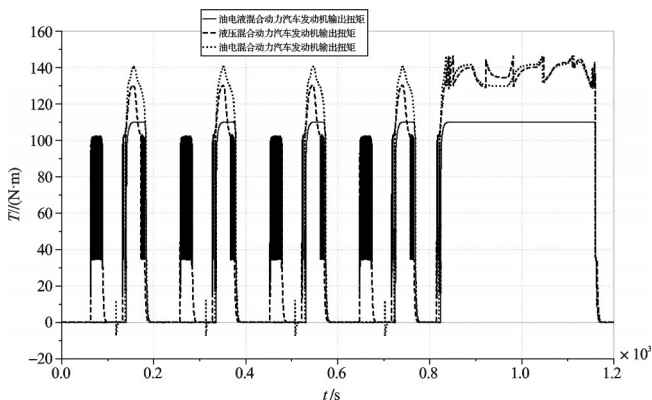


图5 发动机输出扭矩变化曲线

电机的输出扭矩变化曲线如图6所示。从图6中可以看出,在车辆行驶过程中,当处于加速阶段的时候,电机作为电动机使用,用来给车辆提供驱动力,当处于减速或制动的时候,电机作为发电机使用,为蓄电池充电,这样能够保持蓄电池一直处于充放电循环的状态。

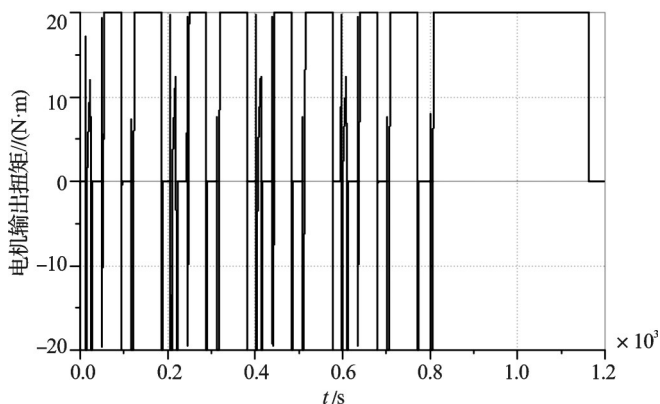


图6 电机输出扭矩变化曲线

液压蓄能器出口压力和流量的变化曲线如图7、图8所示。从图7、图8中可以看出,在车辆行驶的过程中,液压蓄能器在不断地吸收和释放液压油,从而进行液压能的储存和释放,进而有效的回收和再利用车辆的制动能量。

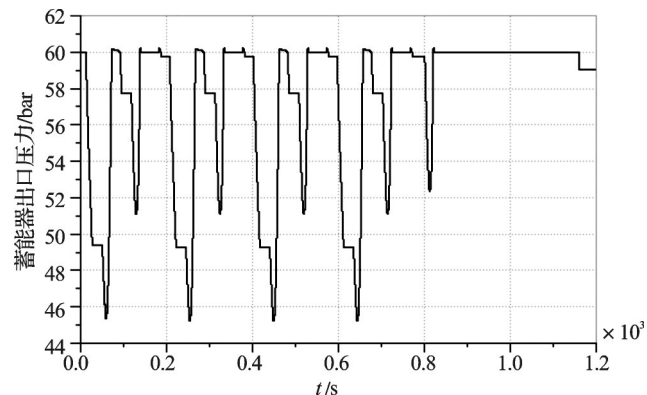


图7 液压蓄能器出口压力变化曲线

油电液混合动力汽车与传统混合动力汽车的燃油消耗曲线如图9所示,从图9中可以看出,油电液三元混合动力汽车相比与油电混合动力汽车和液压混合动力汽车,在燃油消耗方面有了很大的提高,其相比与油电混合动力汽车节约油耗约为8.2%,相比于液压混合动力汽车节约油耗约为3.9%,相比于传统车辆节约油耗约为27.9%,不仅如此,通过在传统汽车上同时增加电机部分和液压部分,可以大大减少发动机的

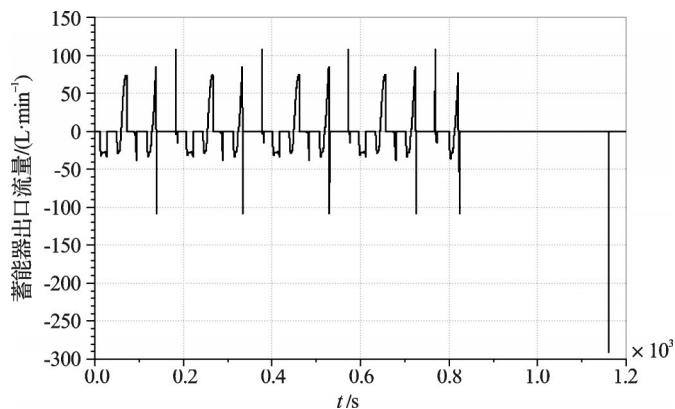


图8 液压蓄能器出口流量变化曲线

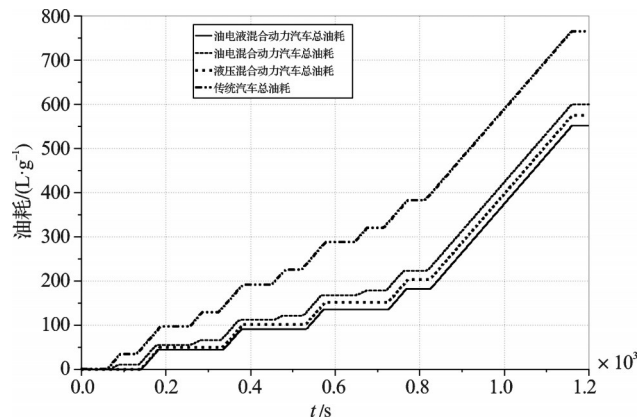


图9 油电液混合动力与传统混合动力汽车燃油消耗曲线

工作时间,从而减少了尾气排放量,充分体现了油电液混合动力汽车在节能减排上的强大优势。

4 结束语

本研究在油电混合动力和液压混合动力系统的基础上设计出油电液三元混合动力系统,其核心思想是小配发动机,改变驱动方式,在兼顾车辆动力性能的同时,保证发动机一直工作在高效率区,降低燃油消耗,从而达到节能减排的目的。通过在AMESim平台下建立车辆模型,并进行了仿真分析,由仿真结果可知,油电液混合动力汽车在燃油消耗方面有着强大优势。

鉴于重载车的启动力矩大、启动和制动频繁,因此油电液三元混合动力在重载车辆上尤为适用。本研究基于逻辑门限控制策略制定车辆的工作模式,在此方面还有待进一步优化,这对以后油电液混合动力产品的研发具有重要的参考价值。

(下转第570页)

本文引用格式:

张磊,傅明星,王瑜. 基于AMESim的新型油电液混合动力系统的仿真分析[J]. 机电工程,2015,32(4):561-565,570.

ZHANG Lei, FU Ming-xing, WANG Yu. Simulation and analysis of electro-hydraulic hybrid system based on AMESim[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2015, 32(4): 561-565, 570.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>