

汽车用刹车蓄能助力启动系统设计说明书

作品内容简介

汽车在刹车过程中带来的能量损失是不可估量的，在汽车刹车制动和惯性滑行的过程中，制动系统中制动盘和制动钳会摩擦产生热能，造成能量浪费。汽车用刹车蓄能助力启动系统意在把汽车制动或惯性滑行中释放出的多余能量转化为其他形式的能量并加以储存起来，用储存能量助力下一次汽车的启动。汽车用刹车蓄能助力启动系统主要由离合器、蓄能助力装置、电控系统三大部分组成。本系统是将汽车制动或惯性滑行中释放出的多余能量由蓄能助力装置储存，储存能量后汽车停止，用储存的能量助力汽车下一次启动。是一种以汽车传动系统为主，汽车用刹车蓄能助力启动系统为辅助动力的“并联方式”。本系统不改变原有汽车制动系统，是在汽车传动系统的传动轴上连接离合机构、蓄能助力箱，从而实现对汽车制动能量的回收与利用。汽车用刹车蓄能助力启动系统通过电控系统控制，只有满足条件的工况下才会运行，不会影响汽车行驶的稳定性、安全性，而且会提高汽车燃油经济性，达到节约燃油、降低排放的效益。

1 研制背景及意义

1.1 研制背景

随着社会的发展，汽车的使用越来越普遍。据公安部统计，2018 年全国新注册登记机动车 3172 万辆，机动车保有量已达 3.27 亿辆，其中汽车 2.4 亿辆。小型载客汽车首次突破 2 亿辆；机动车驾驶人突破 4 亿人，达 4.09 亿人，其中汽车驾驶人 3.69 亿人。从 2011 年到 2018 年期间，每年汽车保有量都在增加（汽车保有量指的就是一个地区拥有车辆的数量，一般是指在当地登记的车辆。），2011 至 2018 年中国汽车保有量柱状图如图 1 所示。

在能源危机与全球环境恶化的双重环境下，节能减排、降低汽车能量损耗已经成为促进汽车发展的重要因素。在汽车的正常行驶过程中，人们会根据不同的路面情况进行汽车的制动和启动。但是当汽车在开始减速和制动时，汽车带来的能量损失是不可估量的。汽车刹车系统工作原理是通过液压系统让制动盘和制动钳结合摩擦产生摩擦力，从而将汽车动能转化为热能实现制动，热能通过制动盘上散热孔散失在空气中，汽车制动执行机构如图 2 所示。

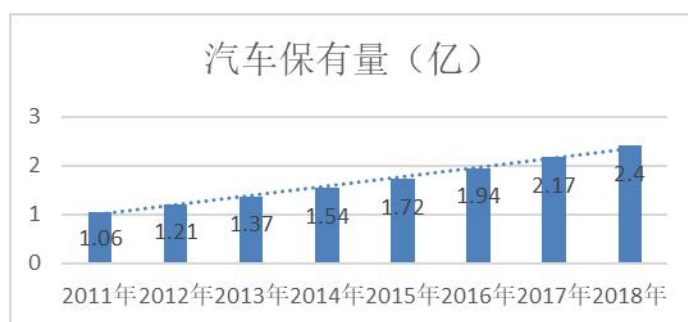


图 1 2011 年至 2018 年中国汽车保有量柱状图 图 2 汽车制动执行机构图

1.2 国内外研究现状

国内外关于对汽车制动能量的回收都集中在如何储存能量，而对于这部分能量没有得到好的利用。对于新能源车型，在国内外的研究中，无论是纯电动车还是油电混合动力车，制动能量回收系统基本上都是标配。制动能量回收是现代电动汽车与混合动力车的重要技术之一^[1]，汽车制动能量回收与利用在电动汽车和油电混合型车上已经得到广泛运用，但是在一般内燃机汽车还没有一种好的方式加以解决。

众所周知，能量既不会凭空产生，也不会凭空消失，它只能从一种形式转化为其他形式，或者从一个物体转移到另一个物体，在转化或转移的过程中，能量的总量不变。这样汽车的动能制动工况会因为刹车盘和刹车卡钳摩擦而转换成热能散失掉，如何有效的实现制动能量的回收和利用是现代内燃机汽车迫切需要解决的问题。制动能量回收是现代电动汽车与混合动力车的重要技术之一，也是它们的重要特点。但是在一般内燃机汽车上没有得到有效的解决。

1.2 研制意义

设计一种节约燃油、低碳环保的汽车用刹车蓄能助力启动系统，可以有效解决汽车减速或者制动时带来的能量损失问题，尽量减少汽车在刹车制动过程中制动能量被转换为热能，让这部分制动能量通过蓄能助力装置储存，储存能量用来助力汽车下一次启动。本系统可以减少制动能量损失，根据不同的车型配备不同的蓄能助力箱，以适用于不同的车型。装上刹车蓄能助力系统的内燃机汽车动力性将优于同排量的单纯内燃机汽车，特别是在起步加速时，汽车用刹车蓄能助力启动系统可以有效地弥补汽车内燃机低转速扭矩力不足的弱点。本系统的推广和普及将有效的解决汽车刹车制动能量的回收和利用问题，提高内燃机汽车的燃油经济性，达到节约燃油、降低排放的效益。

2 设计方案

2.1 方案构想

制动能量回收是现代电动汽车与混合动力车的重要技术之一，汽车制动能量回收与利用在电动汽车和油电混合型车上已经得到广泛运用，但是在一般内燃机汽车还没有一种好的方式解决。在一般内燃机汽车上，车辆减速制动时，车辆的制动能量只能通过汽车制动系统中制动盘和制动钳结合摩擦，从而将车辆的制动能量转化为热能，热能只能通过制动盘上散热孔散失在空气中，本作品中刹车蓄能助力系统主要针对一般内燃机汽车刹车时的蓄能和启动时的助力问题，减少内燃机汽车的能量损失。

2.2 总体设计及工作过程

(1) 总体设计

汽车用刹车蓄能助力启动系统主要由电磁离合器、蓄能助力装置、电控系统三大部分组成。本系统中蓄能助力装置通过离合器连接在汽车传动系统中变速器与主减速器之间传动轴上。汽车传动系统传动轴上位置有固定齿轮，齿轮通过轴与电磁离合器连接。电磁离合器传动轴与蓄能助力装置相互结合，这样电磁离合器在汽车用刹车蓄能助力启动系统中起到一个开关的作用。在汽车行驶过程中，传感器检测到汽车制动时，电控模块控制电磁离合器结合，汽车传动系统传动轴与汽车用刹车蓄能助力启动系统结合，蓄能助力装置开始蓄能工作，储存汽车刹车时产生的能量。传感器检测到汽车制动停止时，电控模块控制电磁离合器分离，汽车传动系统传动轴与汽车用刹车蓄能助力启动系统分离。传感器检测到汽车启动时，电控模块控制使电磁离合器结合，汽车传动系统传动轴与汽车用刹车蓄能助力启动系统结合，蓄能助力装置开始助力启动。飞轮储能^[2]过程中，始终有一部分能量通过发电机转换为电能储

存在蓄电池中，如果汽车停下且长时间不启动，刹车蓄能助力装置中飞轮能量会通过电机转

换为电能，避免能量损失，汽车用刹车蓄能助力启动系统制动能量传递过程转换如图 3 所示。

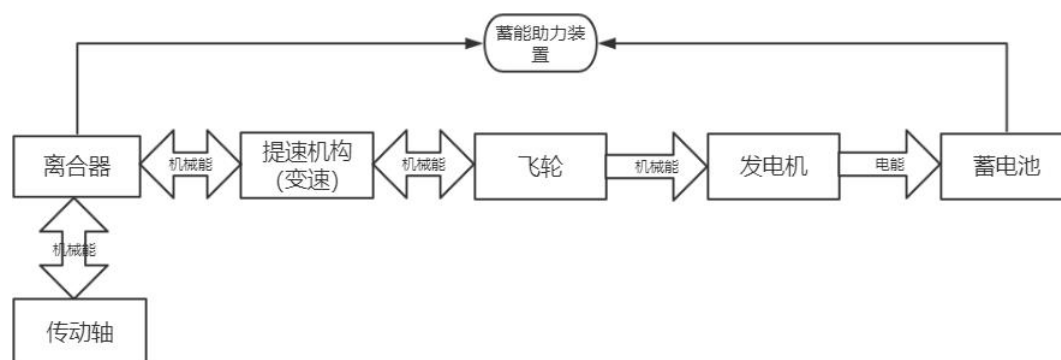


图 3 制动过程能量传递示意图

(2) 工作过程

1) 汽车正常行驶时，汽车用刹车蓄能助力启动系统中电磁离合器分离，本系统不参与工作。

2) 传感器检测到汽车制动时，电控模块控制电磁离合器结合，汽车传动系统传动轴与汽车用刹车蓄能助力启动系统结合，蓄能助力装置开始蓄能工作。开始储存汽车制动刹车时产生的多余能量。汽车停下时，蓄能结束。这时候有两种情况：

第一种情况：汽车制动到停止状态，且汽车短时间内启动（比如等红绿灯的时）。汽车停下之后，电控模块控制离合器分离，汽车用刹车蓄能助力启动系统和汽车传动系统分离。蓄能助力装置由于制动时储存的能量依然在旋转，飞轮储存的小部分能量会由发电机转换为电能用蓄电池储存起来。当传感器检测到汽车启动的时，电控模块控制离合器结合，汽车用刹车蓄能助力启动系统和汽车传动系统结合，汽车用刹车蓄能助力启动系统处于助力状态，通过储存的能量助力汽车启动。由于停车时间较短，蓄能助力装置中发电机不会转换太多电能，飞轮更多的能量通过离合器作用在汽车传动轴上，助力汽车启动。

第二种情况：汽车从高速状态减速到低速状态或者汽车制动到停止状态且长时间内不启动。传感器检测到汽车从高速状态下减速时，电控系统控制离合器结合，汽车用刹车蓄能助力启动系统和汽车传动系统结合，汽车用刹车蓄能助力启动系统开始蓄能。汽车减速到某指定速度时汽车保持匀速行驶。传感器检测到汽车速度不变时，电控系统控制离合器分离，汽车用刹车蓄能助力启动系统和汽车传动系统分离。汽车用刹车蓄能助力启动系统将储存能量转换为电能用蓄电池储存起来。汽车制动到停止且长时间不启动，这样汽车用刹车蓄能助力启动系统会把蓄能的所有能量通过发电机转换为电能并储存到蓄电池中。这样做到了能量的最大利用，不会造成能量浪费。

2.3 机械机构

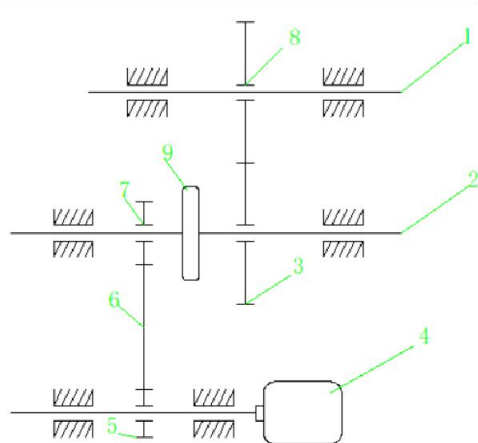


图 4 结构示意图

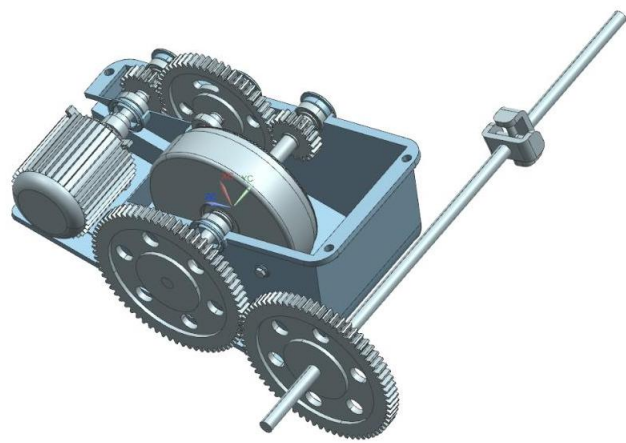


图 5 结构三维图

- 1- 传动系统传动轴 2-蓄能助力装置轴 3-齿轮I 4-发电机 5-二级飞轮 6-一级飞轮 7-齿轮II 8-输入齿轮
9-离合器

(1) 离合器

本系统使用电磁离合器，电磁离合器由飞轮、主轴、主动摩擦片、从动摩擦片、从动齿轮、套筒、线圈、铁芯、衔铁、滑环等组成。在汽车传动系统传动轴上中间位置固定输入齿轮，输入齿轮与电磁离合器轴相连的齿轮I结合。电磁离合器作为汽车用刹车蓄能助力启动系统的开关。电磁离合器压盘没有受力时，电磁离合器处于结合状态，即刹车蓄能助力系统开始处于刹车蓄能状态或是助力启动状态。电磁离合器压盘受力时，电磁离合器处于分离状态。即汽车用刹车蓄能助力启动系统不工作，汽车处于行驶或静止状态。

(2) 蓄能助力装置

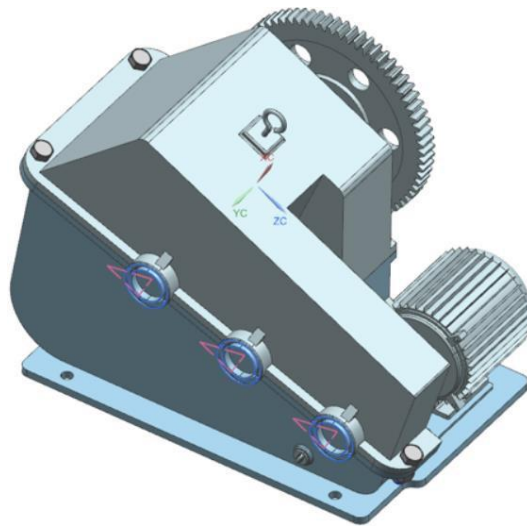


图 6 蓄能助力装置三维图

蓄能助力装置主要由传动装置、飞轮、发电机、蓄电池、箱体组成,如图 6、图 5 所示。本装置主要采用飞轮储能，飞轮储能具有储能密度大、高效性强、使用寿命长等优点^[3]。由于飞轮转速很高，汽车用刹车蓄能助力启动系统制动产生的机械能要通过传动装置提速后才能对飞轮加速。制动能量通过传动装置提速后，将机械能传递到一级飞轮储存。二级飞轮相对一级飞轮体积更小、转动惯量更小，转速高。二级飞轮通过联轴器与发电机轴连接，二级飞轮通过发电机将机械能转换成电能用蓄电池储存。一级飞轮和二级飞轮结合。这样构成的一个蓄能助力装置，储存汽车的制动能量时，一级飞轮首先储存转换，少部分能量由二级飞

轮通过发电机转换为电能。在汽车刹车短暂启动工况下，一级飞轮能量会把机械能用来助力启动。在汽车刹车至停止工况下，二级飞轮能量会通过发电机转换为电能用蓄电池储存起来。

(3) 电控系统

汽车用刹车蓄能助力启动系统中电控系统主要包含速度传感器、陶瓷压力传感器。陶瓷压力传感器功能是检测汽车膜片弹簧式离合器压盘到飞轮的受力情况，速度传感器是检测汽车速度的变化。通过速度传感器和陶瓷压力传感器的检测可以及时控制汽车用刹车蓄能助力启动系统的工作。

1) 刹车蓄能电控模块

汽车正常行驶，发动机离合器处于正常结合状态，汽车用刹车蓄能助力启动系统不工作，当驾驶员踩制动踏板开始制动时，汽车离合器分离。发动机与传动轴之间动力传输分离，汽车用刹车蓄能助力启动系统开始工作。

目前大部分汽车采用膜片弹簧式离合器，在汽车离合器的压盘上装有陶瓷压力传感器，汽车离合器结合时，ECU 会检测到压力传感器的信号值，刹车蓄能助力启动装置不工作；汽车离合器分离时，压力传感器无信号值，ECU 控制刹车蓄能助力启动装置的电磁离合器工作，即让其线圈通电，线圈通电后，将摩擦片吸向铁芯，衔铁也被吸住，紧紧压住摩擦片，依靠主、从动摩擦片之间的摩擦力，使从动齿轮随主动轴转动，电磁离合器结合，从而刹车蓄能助力启动装置进入工作状态，即汽车用刹车蓄能助力启动系统开始蓄能操作。

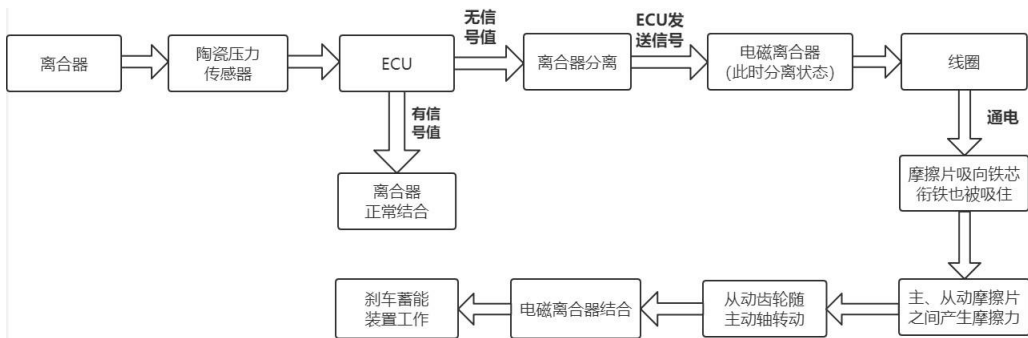


图 7 汽车刹车蓄能电控流程图

2) 助力启动电控模块

汽车上安装速度传感器，可以检测汽车速度的变化，当汽车完全停止时，此时车速为 0，速度传感器将其信号值传给 ECU，ECU 将电磁离合器断电，电磁离合器分离，蓄能结束。但蓄能助力启动装置的两级飞轮仍处于转动状态，为汽车制动后重新启动的助力做准备。

在汽车制动后，汽车需要重新启动，此时发动机离合器进行结合传输动力。同时刹车蓄能助力启动装置的电磁离合器也应处于结合状态，其在进行蓄能的工作过程中，两级飞轮上还有部分机械能未转换成电能储存到蓄电池中，此时就能利用本部分能量助力汽车启动。

进行助力启动时，汽车车速由零逐渐增加，即车速不为零，此时速度传感器接收到信号值传给 ECU，ECU 重新控制电磁离合器通电，使其进入工作状态，蓄能助力启动装置重新与汽车传动系统中传动轴连接，利用飞轮的机械能进行汽车的助力启动，设置一个定时器，当蓄能助力系统进行短时间助力后，对电磁离合器断电（经理论计算得定时 5 秒为最佳），助力结束，电磁离合器断开，如图 7 所示。

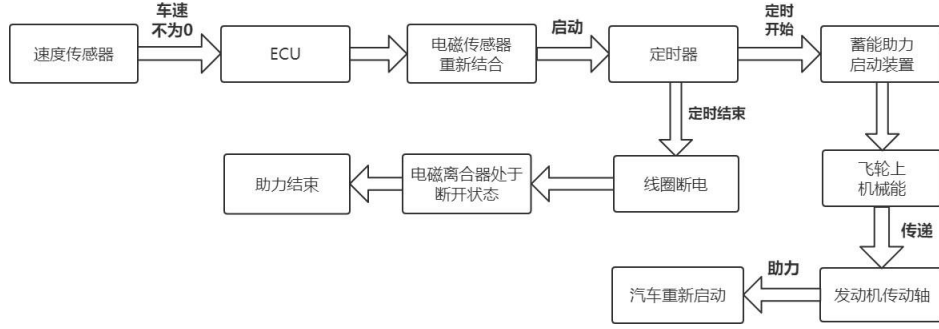


图 8 助力启动电控流程图

3 理论设计计算

3.1 刹车制动能量的蓄能与助力计算

汽车用刹车蓄能助力启动系统是将汽车制动的能量进行回收和利用，根据汽车刹车蓄能和助力启动两种情况，下面分情况说明：

(1) 汽车制动至停止状态且汽车短时间内启动，本系统主要能量储存在飞轮中，由于时间短暂，飞轮中少部分能量通过发电机转换为电能储存在蓄电池中。设汽车制动开始的速度为 v_0 ，则汽车在制动时的能量损耗方程为：

$$E = \frac{1}{2}mv_0^2 = E_1 + E_2 + E_3 \quad (1)$$

式中： E_1 为储存于飞轮中的能量， E_2 为储存于蓄电池中的能量， E_3 为汽车制动过程中损失的能量。

由于在这种制动情况下， E_2 很小，故在计算飞轮储能能量时可忽略不计，则：

$$E_1 = \eta(E - E_3) = \frac{1}{2}J\omega^2 \quad (2)$$

式中： J 为飞轮的转动惯量， ω 为飞轮转动角速度，式中 η 为回收效率。

在汽车制动过程中损失的能量 E_3 分为两个方面：制动过程中汽车受到空气阻力的作用耗散的能量；制动过程中汽车内部机械元件运动过程耗散的能量，由于这部分能量损失很少，故在计算时可以忽略不计。

由汽车理论可知空气阻力 F_w 的计算公式为：

$$F_w = \frac{C_D A u^2}{21.15} \quad (3)$$

式中： C_D 为空气阻力系数； A 为车辆迎风面积， m^2 ； u 为车辆的行驶速度， m/s 。则在制动过程中由于空气阻力所耗散的能量可由式 (4) 表示：

$$E_2 = \int_0^t F_w ds \quad (4)$$

式中： t 为制动过程需要的时间， s ； s 为制动过程车辆行驶距离， m 。

在后续启动的储存于飞轮中的能量 E_1 ，将助力汽车启动。

(2) 汽车从高速到低速状态下匀速行驶和汽车制动到停止状态长时间不启动，在这种工况下，本系统将能量全部储存于蓄电池中。

设汽车制动开始与结束的時刻的速度分别为 v_1 、 v_2 ，则汽车在制动的能量损耗方程为：

$$E = \frac{1}{2}(v_1^2 - v_2^2) = E_1 + E_2 \quad (5)$$

式中：\$E_1\$ 为储存于蓄电池中的能量，\$E_2\$ 为汽车制动过程损失的能量。则：

$$E_1 = \eta(E - E_2) \quad (6)$$

式中 \$\eta\$ 为回收效率。

3.2 储能容量

蓄能助力箱的储能主要是飞轮储能，飞轮的储能实际是利用电动机将电能转化为机械能储存起来的一种方式。对于一定材料、尺寸等厚度的圆盘形飞轮^[4]，高速旋转所储能的能量为 \$E\$，如式（7）所示

$$E = \frac{1}{2} J \omega^2 \quad (7)$$

式中，\$J\$ 为飞轮的转动惯量；\$\omega\$ 为飞轮转动角速度。

对于两级飞轮，根据式（7）有每级所储存的能量分别为 \$E_1\$、\$E_2\$，即：

$$E = E_1 + E_2 = \frac{1}{2} (J_1 \omega_1^2 + J_2 \omega_2^2) \quad (8)$$

式中，\$J_1\$、\$J_2\$ 分别为第一级飞轮和第二级飞轮转动惯量；\$\omega_1\$、\$\omega_2\$ 分别为第一级飞轮和第二级飞轮的转动角速度。

$$J_{21} = J_2 \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} \right)^2 \quad (9)$$

式中，\$J_{21}\$ 为第二级飞轮转动惯量转换到第一级飞轮的等效转动惯量^[5]。

两级飞轮储能装置的总等效转动惯量 \$J_0\$ 为：

$$J_0 = J_1 + J_{21} = J_1 + J_2 \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} \right)^2 \quad (10)$$

3.3 节能分析

在汽车制动时，刹车系统制动盘和制动钳会摩擦产生很多热能，造成很大的能量浪费。这部分耗散的能量却没有得到相关的回收和利用。据统计，汽车在城市行驶中，制动消耗的能量占总驱动能量的 50% 左右，而在郊区行驶中制动消耗的能量也占总驱动能量的 20% 以上。由此可见，如果将这部分的能量进行回收利用，用于后续汽车的启动以及汽车电器使用方面，都能够很大程度上减少汽车能源的损耗。在我们使用的汽车用刹车蓄能助力启动系统中，我们运用飞轮将能量回收，并可以转化为电能存储于蓄电池中。查阅相关资料可得，飞轮回收制动净能量的回收效率趋于稳定均值的 32%^[5]，达到了很大程度上节约能源的目的，如图 8 所示。

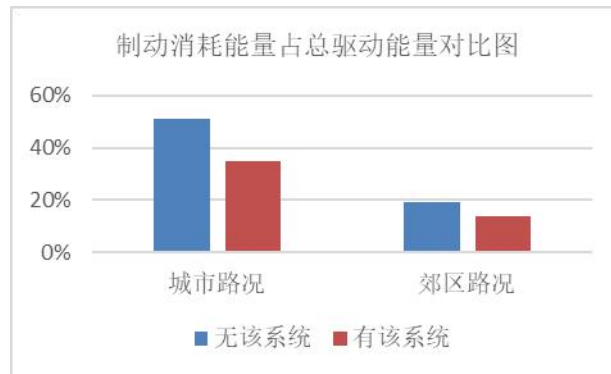


图 9 制动消耗能量占总驱动能量对比图

4 性能分析

在一般内燃机汽车在刹车制动或惯性滑行释放的多余能量只能转换成热能散失掉。而在车上装上汽车用刹车蓄能助力启动系统可以解决这个问题，汽车用刹车蓄能助力启动系统将对车辆在刹车制动或惯性滑行释放的多余能量进行回收与利用，对这部分能量进行回收，用来帮助汽车的下一次启动。本系统无论是刹车蓄能还是助力启动性能都非常稳定、高效，可以提高内燃机汽车的燃油经济性，降低汽车的使用费用，减少废气排放，从而达到节能减排的目的。

5 创新点及市场分析

5.1 创新点

(1) 汽车用刹车蓄能助力启动系统是以汽车传动系统传动轴为作用对象，进行制动能量的回收与利用，不改变汽车制动系统。不会影响汽车行驶的稳定性和安全性。

(2) 采用飞轮蓄能为主要蓄能方式，飞轮储能具有储能密度大、高效性强、使用寿命长等优点。

(3) 蓄能助力装置采用飞轮蓄能和发电机储能两种方式配套使用，两者构成一个刹车蓄能助力装置，有效的解决了飞轮储能时间短的缺点，有效减少了汽车用刹车蓄能助力启动系统的能量损失。

5.2 应用前景

本系统本着节能环保、低碳生活的生活理念，主要针对于对内燃机汽车制动能量的回收与利用。对于新能源车型，无论是纯电动车还是油电混合动力车，制动能量回收系统基本上都是标配。但是在一般内燃机汽车上，对于汽车制动能量的回收还没有得到解决。本系统应用在一般内燃机汽车上可以有效的提高内燃机汽车燃油经济性，减少排放，节能减排。迎合了我国所倡导节能减排的主题，所以本系统在一般内燃机汽车上有着很大的应用前景。

6 参考文献

- [1] 汤延祺, 朱焯秋. 车载飞轮储能系统及其关键技术研究[J]. 电机与控制应用, 2016, 43(5): 38-46.
- [2] 戴兴建, 魏鲲鹏, 张小章等. 飞轮储能技术研究五十年评述[J]. 储能科学与技术, 2018, 7(5): 765-782.
- [3] 赵小婷, 储江伟, 袁善坤, 管湘源. 基于汽车制动能量回收的两级式飞轮设计分析[J], 储能科学与技术, 2019, 8(3): 568-574.
- [4] 彭闪闪, 赵雪松, 时培成. 基于复合制动的电动汽车制动能量回收系统设计[J], 井冈山大学学报(自然科学版), 2015, 36(4): 60-63.
- [5] 陈家瑞. 汽车构造: 下, 下册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2001.
- [6] 许峰, 隆武强. 内燃机原理教程 [M]. 大连: 大连理工大学出版社.

