



北京航空航天大学
BEIHANG UNIVERSITY

汽车制动能量回收利用装置的研究

摘要

汽车在制动过程中消耗大量的动能，但是目前制动能量还不能被利用，只能通过摩擦转变成热能消耗掉，同时也加速了车辆制动系统的磨损。

本文阐述的汽车制动能量回收装置是指在车辆制动减速时，将其中一部分动能转化为电能储存起来以备驱动时使用。

该装置包括能量转换装置、能量储存装置和制动能量回收的最佳控制策略。

在本方案实施过程中，重要环节是对行星齿轮减速器予以改装：将原行星齿轮减速器，通过改装使得行星齿轮减速器成为行星齿轮增速器，既达到刹车效果又产生电能输出。

该装置对城市运行的车辆或上下坡比较多的山区车辆，其节能的效果是非常明显的，同时可降低废气排放，对于保护环境，具有重要意义。

关键词：汽车 节能 制动 能量回收 发电 行星齿轮

Abstract

This paper describes the principle of recycling brake energy, and proposes a new kind of equipment with planetary gear based on the analysis of the braking energy conversion for electrical energy, which can not only decrease attrition, improves vehicle braking characteristic, reduces fuel consumption and emissions, but also transforms the braking energy into electricity and reuses in automobile. And then come to the conclusion that braking energy conversion for electrical energy is a more efficient energy recovery method, and could be a future direction of automobile development.

Key Words: Automobile; Energy Saving; Braking; Energy Recovery; Power Generation

目录

引言.....	1
1. 课题由来.....	2
1.1 背景.....	2
1.2 针对问题.....	2
2.制动能量回收装置方案设计.....	3
2.1 传统制动方式的分析.....	3
2.2 制动能量回收装置的基本原理.....	4
2.2.1 能量转换装置.....	4
2.2.2 能量储存装置.....	5
2.2.3 制动能量回收的最佳控制策略.....	6
2.3 制动能量回收装置的关键技术.....	8
3. 汽车制动能量回收利用装置实物演示.....	9
3.1 演示实物构造:	9
3.2 实物制作方法:	9
3.3 演示实物介绍:	10
3.4 与已有类似课题对比表.....	11
4.结论.....	12
附: 查新报告.....	14

引言

随着世界能源的日趋紧张以及人们环保意识的日趋增强,汽车的节能和环保问题倍受世界各国的重视,降低能源的消耗,实现能源的再利用,已成为世界各国科技发展的重要课题之一。在我国,汽车作为国民经济发展的支柱产业之一,1980年年产量为20多万辆,保有量为168万辆;1990年年产量为50多万辆,保有量为360万辆;2000年年产量突破200万辆,保有量为1608.9万辆;2010年年产量超1600万辆,保有量突破7000万辆,可见汽车的年产量和保有量的增幅是惊人的。由于汽车庞大的拥有量,因而对能源的消耗是惊人的,汽车的安全、节能和环保成为汽车产业发展过程中需要解决的三大问题。本文提出将汽车制动中的能量回收并用来发电,使汽车刹车中消耗的能量尽可能地被回收利用。

1. 课题由来

1.1 背景

汽车在行驶过程中，遇到红灯、行人以及其他突发事件时，驾驶员会使用车辆的制动系统降低速度，以保证人员及车辆的安全。然而通过发动机消耗燃料为代价提升起的速度，将会大大降低，汽车也需要重新做功以恢复所损失的速度，导致产生更多的燃料消耗，造成资源的浪费。同时刹车的使用过程会产生大量的热，对刹车系统和轮毂都会带来损伤；大型车辆还经常因为制动系统持续工作发热致使刹车失控，造成事故。回收汽车的潜在动能被认为是提高汽车能量效率的另一个非常有效的途径，尤其是当汽车在经常刹车的工况下运行。例如，一辆自重为 1500kg（3300 磅）的汽车时速 70km/h（43mph），储存了大约 $\frac{1}{2} \times 1500 \times (70/3.6)^2 = 300000 \text{J} = 300 \text{KJ}$ 的动能。如果能够将这些动能回收 50%，用于推进这辆汽车在 70km/h 时速下运行，这些能量就可使汽车行驶 1.0km。但在传统的摩擦制动中这些能量就以热量形式消失了。

1.2 针对问题

现有汽车的行车制动主要是通过摩擦式制动器将车辆行驶的能量（包括动能及势能）转化为热能而消耗，以实现汽车减速的目的。显然，这种制动形式将会产生下列问题：

1、制动时汽车行驶的能量（车辆行驶的动能及下坡时具备的势能）没有得到利用，制动时的强制怠速造成汽车制动时燃料消耗过大。

2、产生公害。一方面，汽车在行驶时，特别是汽车在频繁的制动过程中（制动、怠速及起动）会产生大量的废气；另一方面，汽车在制动时，制动系及轮胎会产生较大的噪音。此外，由于部分制动器的摩擦材料采用的是石棉基材料，因而汽车制动时在空气中会产生有害于人体的石棉纤维。

3、大大降低制动器的使用寿命，影响汽车行驶的安全性。汽车在短时间内的多次重复制动以及下长坡时连续长时间制动，会使制动器内温度过高而导致摩

擦材料过快磨损，摩擦系数降低，从而使制动能力降低或失效，严重影响制动的安全性。

为此，人们正在寻求新的制动方法，通过再生制动技术，将原本废弃的能量加以回收利用，在汽车加速或起动时进行再利用。一方面，使汽车制动时的能量得到充分的利用，改善了汽车的燃料经济性能；另一方面，可显著提高汽车有关零部件的使用寿命。还能减少汽车的尾气排放，起到环保作用。

2.制动能量回收装置方案设计

2.1 传统制动方式的分析

目前我们比较常见的刹车装置主要为“鼓式刹车”和“盘式刹车”两种类型，其中“盘式刹车”可分为“普通盘式刹车”和“通风盘式刹车”。

两种刹车装置的原理图分别见图 1 和图 2。

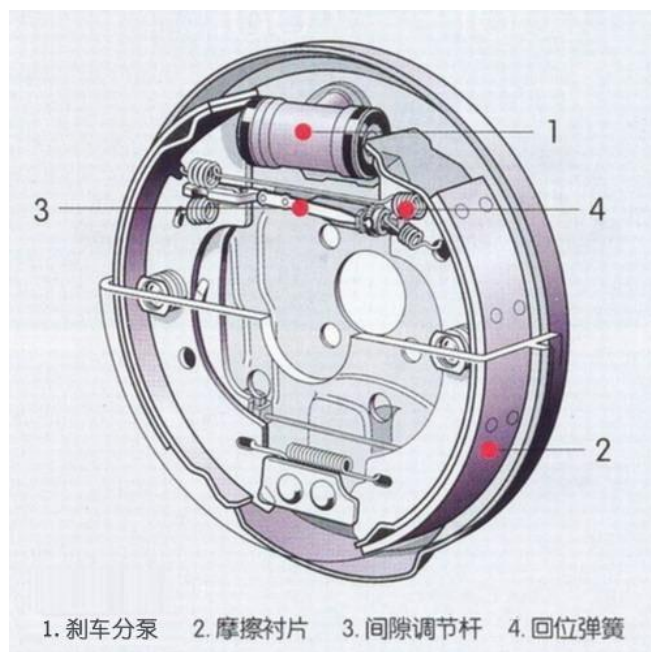


图 1 鼓式刹车工作原理图

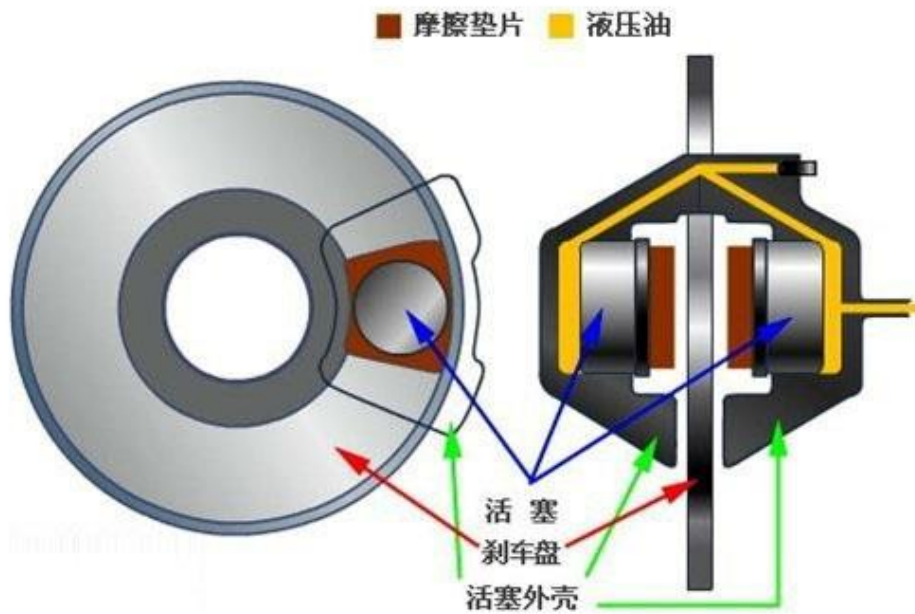


图 2 盘式刹车工作原理图

“鼓式刹车”和“盘式刹车”都是利用刹车装置与轮毂的摩擦以达到降低车辆速度的目的，动能在制动过程中主要转化为无法回收利用的热能，并且会对制动系统本身产生危害。

2.2 制动能量回收装置的基本原理

制动能量回收装置包括能量转换装置、能量储存装置和制动能量回收的最佳控制策略。

2.2.1 能量转换装置

在轮毂的内侧（或刹车盘的内侧）装上位置固定的特殊齿圈，在轴与轮毂的连接处安装可控制（可以停止转动）的轴承。在轴承外连接多根（按照车辆制动负荷确定数量）联动杆，联动杆的另一侧装上与齿圈精确吻合的齿轮，齿轮再与传动装置连接，由各个齿轮带动的传动装置可以带动发电机运行。结构图见图 3。

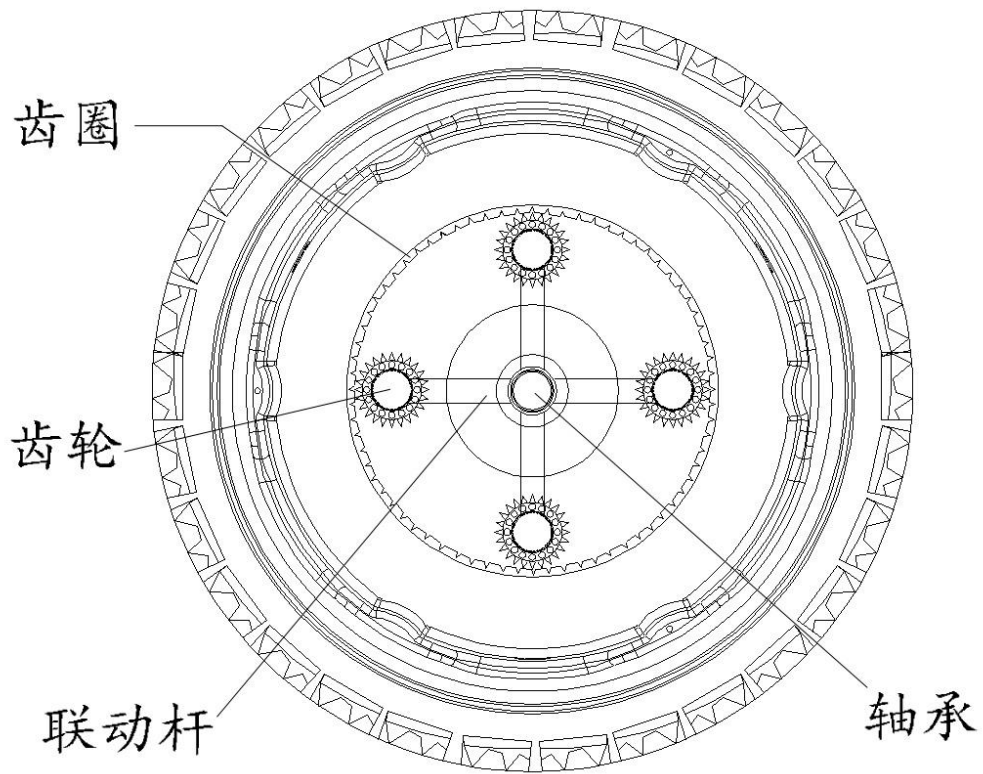


图3 制动发电原理图

2.2.2 能量储存装置

在制动系统工作时，轴承、联动杆和齿轮都停止随车轮的转动，齿轮开始带动齿圈转动，齿圈带动传动装置，并对车轮产生较大的阻力，达到刹车的效果。同时齿轮通过传动装置驱动发电机运转，将动能转化成电能储存在蓄电池内。电储能系统图见图4。

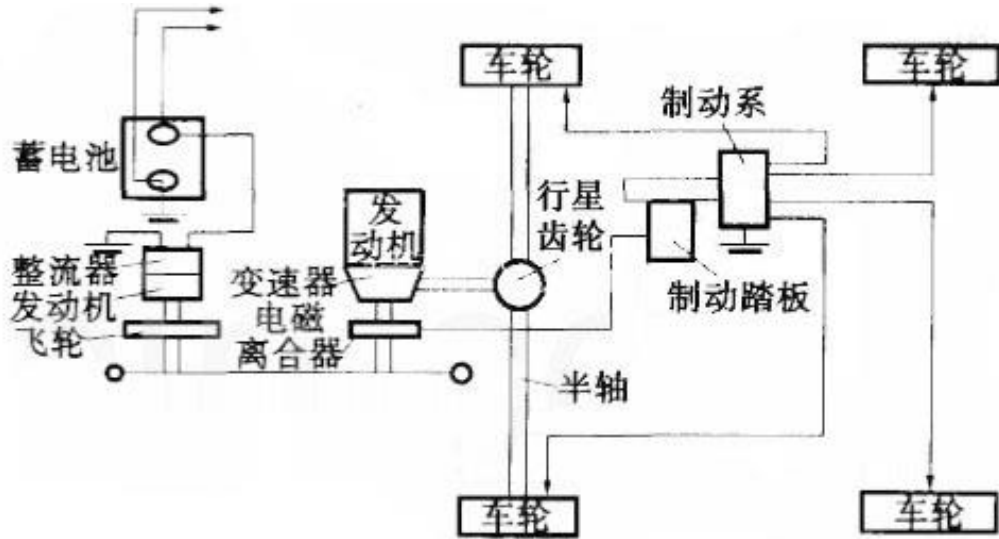


图4 电储能系统图

由于在汽车开动时，轴承可以正常旋转，联动杆与齿轮随车轮一同转动，所以在正常行驶时，除自身重量外，该装置不会对汽车的运动产生阻力以及其他负面影响。

为了保证刹车的稳定性与可靠性，可以在汽车车桥（轴）中央的合适位置放置另一组含发电/电动机的刹车装置，以便对车桥产生阻力，达到刹车的目的，使得汽车制动时既可以发电又不影响本来的制动目的。在需要时还可将储存的电能通过车桥上的电动机驱动车辆运转，以增加车辆的动力，达到提高车辆的加速性能和扭矩的目的。

2.2.3 制动能量回收的最佳控制策略

本制动改进的目的是最大程度地回收制动能量，因此在分配前后轴的机械制动力和再生制动力时，本改进在保证要求的制动减速度和前后轮均不抱死的前提下尽量使再生制动力获得最大值。

图5为最佳制动能量回收的控制策略，下面根据此图介绍在不同路面条件下的控制策略。

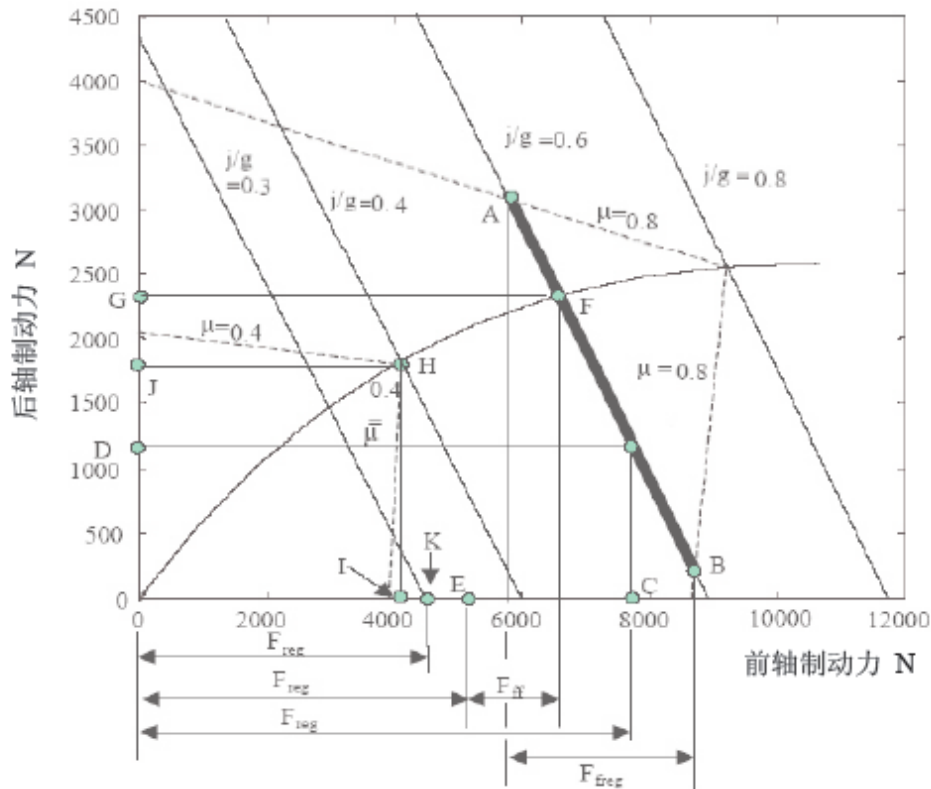


图 5 不同路面情况下控制方法

j/g : 所需减速度

μ : 地面附着系数

FB: 地面制动力

f : 前车轮有效半径

r : 后车轮有效半径

A. 当减速度要求小于地面附着系数时（假定 $\mu=0.8$, $j/g=0.6$ ），只要满足 $FB_f+FB_r=mj$, 前后制动力可以在一定范围内变动，以图 6 中粗实线 AB 为例说明在不同情况下如何分配制动力。

当可获得的再生制动力（制动电机的最大制动力）在 F_{reg} 范围内时，如图中 C 点，前轴制动力将全部由再生制动系统提供，同时将后轴制动力控制在相应的 D 点，此时整车将得到 $j/g=0.6$ 的制动减速度。

当可获得的再生制动力小于 A 点对应的前轴制动力时，如图中 E 点，控制制动电机工作在最大值，同时前轴机械制动系统提供一部分制动力 FB_f , 为了将整车制动力控制在理想制动力分配曲线上的 F 点，相应的将后轴机械制动力控制在 G 点，此时整车将得到 $j/g=0.6$ 的制动减速度。

当需要较小的制动减速度时，例如 $j/g=0.3$ ，如果再生制动系统可单独提供制动力需求，将由再生制动系统单独作用，如图中 K 点。

B. 当减速度要求 j/g 大于或等于路面附着系数 μ 时（假定 $\mu=0.4$ ， $j/g=0.6$ ），汽车可以获得的最大制动减速度被限制在 $\mu=0.4$ 。为了尽量满足减速度要求，缩短制动距离，制动力将被控制到理想制动力分配曲线与减速度 $j/g=0.4$ 的交点上，如图中 H 点。

前轴再生制动力与机械制动力的分配取决于再生制动力的最大值与需要的前轴制动力之间的关系。当再生制动系统可单独提供制动力需求时，尽量利用再生制动系统。当再生制动系统不能满足制动力需求时，机械制动系统辅助提供额外的制动力。此种再生制动控制策略可以最大程度回收制动能量，但是控制系统更加复杂，需要同时对制动电机制动力，摩擦制动力进行精确控制。

2.3 制动能量回收装置的关键技术

在本方案实施过程中，重要环节是对行星齿轮减速器予以改装：将原行星齿轮减速器（如图 6）的输入，即连接电动机的部分改为输出，连接发电机，使发电机转动达到发电效果；将原行星齿轮减速器的输出改为输入，行星齿轮加速提供发电机动力，齿圈减速，达到刹车效果。通过改装使得行星齿轮减速器成为行星齿轮增速器，既达到刹车效果又产生电能输出。

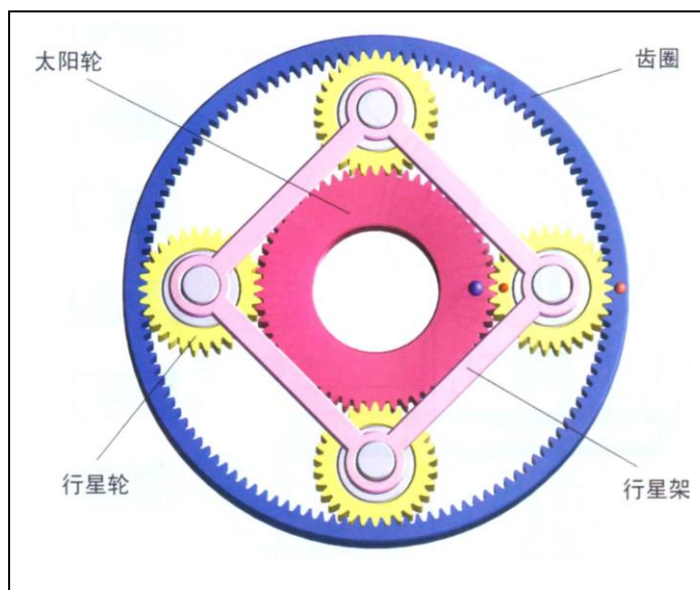


图 6 行星齿轮增速器

经改装后的行星齿轮增速器具有体积小、重量轻、结构紧凑、传递功率大、承载能力高、传动效率高、工作效率高、传动比大等优点，同时行星齿轮减速器价格便宜（多在六百元左右），使得本课题在实际应用中具有较强的可操作性。

据测算，安装本装置后，一辆以 80km/h 行驶的汽车，踩十次刹车所发的电，可折标准煤 0.132kg，若近亿辆汽车每天如此制动一次，全年将节约标准煤 47 万吨！

3. 汽车制动能量回收利用装置实物演示

3.1 演示实物构造：

汽车轮毂、飞轮、离合器总成（离合器压盘、离合器压板、分离轴承）、离合器主轴、滚珠轴承、联轴器、行星齿轮减速器、励磁发电机、电瓶、电线若干、角铁架、检测灯泡

3.2 实物制作方法：

制作时，将飞轮焊接在轮毂内部，再使用螺钉将离合器总成固定在分轮上，使主轴与离合器连接。行星齿轮减速器连接励磁发电机，发电机输出端连接检测灯泡，输入端连接电瓶以提供励磁电流。使用联轴器连接离合器主轴与行星齿轮减速器轴，使两轴刚性连接。将角铁焊接在发电机两角，进而焊接完成整个支撑架（如图 7 所示），由滚珠轴承撑起离合器主轴，分离主轴与支撑架。



图 7、制动回收装置实物图

3.3 演示实物介绍:

在演示正常行驶时，离合器处于两板分离状态（如图 8），车轮独自绕轴转动，其余系统不随其运转；演示刹车时离合器闭合，两板相接闭合，车轮带动主轴转动，从而由联轴器传动至行星齿轮减速器及发电机系统。其中，使用汽车离合器，分离时所需力过大，不利于演示的直观性，现使其处于闭合状态，模拟通过使发电机接入励磁与否来控制刹车与行驶的状态，在不连接发电机输入端与电瓶时，发电机无励磁，处于空转状态不发电且阻力小，即模拟正常行车状态，在连接电瓶时可发电且阻力大，即模拟刹车状态。



图 8、制动发电装置实物图

3.4 与已有类似课题对比表

	飞轮制动发电系统	本项目	磁感应制动发电系统
核心机构	飞轮机构	新型齿轮减速器机构	电磁感应线圈系统
原理	车轮减速时将能量传予飞轮系统，由飞轮系统惯性储存车轮动能，或由飞轮带动飞轮辅助机构达到发电效果。	由行星齿轮减速器机构辅助刹车机构，带动发电机运转，由车轮动能带动发电机转化为电能，达到刹车效果。	在车轮上密布线圈，并在附近创造磁场，在汽车刹车时车轮转速降低，线圈速度降低与磁场发生电磁感应，从而产生逆电流，达到发电效果。
对刹车的影响	辅助刹车	辅助刹车	阻碍刹车
特点	高成本、高精度、高效率、维修频率高	低成本、中精度、高效率、维修频率低	中成本、低效率、维修频率低
能量转化	机械能→机械能 或机械能→电能	机械能→电能	机械能→电能
适用范围	F1 赛车、高性能跑车	各种家用、商用车	各类车型，主要应用于混合动力或电动车
主要差别	相对飞轮制动发电系统，本课题有更广泛的应用范围，成本低廉使其更接近民用需求，无需高频率的更换与维修。但精度与效率方面逊于飞轮制动发电系统。	与磁感应制动发电系统相比，本项目具有更高的工作效率，在应用范围上，由于成本低廉，两种能量回收装置都适用于民用范围，但磁感应制动发电系统由于需要在车轮上密布线圈，使其主要应用于混合动力或点动力车上，如果汽油或柴油动力车适用此系统，需要重排线圈并改变原有构造，增加成本；在当今汽油动力车占主流市场的情况下，本课题的应用范围更广。而在工作原理上，本项目由消耗动能带动发电机运转产生电能达到发电与刹车的效果；而磁感应制动发电系统由汽车速度变化产生逆电流达到发电效果。	
		由于发电而减速	由于减速而发电

表 1. 与已有类似课题对比表

4.结论

本文提出了一种全新的制动方式与制动理念,使汽车刹车中消耗的能量尽可能地被重新利用,能回收一部分传统车辆在制动过程中损失的能量,大大提高了汽车燃油经济性,达到节能减排的效果。同时,可以根据不同汽车条件使用不同方案,适用于大部分车辆,具有很强的创新性、实用性和可操作性。

参考文献

- [1] 阮社楼. 汽车制动系可靠性分析. 汽车研究与开发, 2003 (1) : 29-30.
- [2] 刘惟信. 汽车制动系的结构分析与设计计算. 清华大学出版社, 2004:1-6.
- [3] 陈家瑞. 汽车构造. 人民交通出版社, 2003:294-296.
- [4] 张铁柱等. 城市用车辆的综合经济指标及节能动力传动系统模式分析. 吉林大学学报 (工学版), 1991 (2) : 49-55.
- [5] 刘惟信. 机械最优化设计. 清华大学出版社, 1994:1-251.
- [6] 吴光强. 车辆混合动力传动系统开发现状与展望. 汽车工程, 1997(2) : 15-17.
- [7] 罗禹贡等. 基于最优控制理论的制动能量回收控制策略研究. 汽车工程, 2006 (4) : 356-360.

附：查新报告

查新项目名称	汽车制动能量回收利用装置的研究
一. 查新目的 申报动力杯学生学术科技作品竞赛	
二. 查新项目的创新要点 本项目通过自主设计的齿圈组合以及对行星齿轮减速器的改装收集汽车在制动时浪费的能量，工作效率可达近 40%，降低汽车行驶的能耗，节能减排，适用于大部分车辆，有较高的可行性。	
三. 查新点 查新点： 制动能量回收系统 行星齿轮减速器 齿圈、联动轴组合装置	
四. 文献检索范围及检索策略 文献检索范围： 中国专利信息网 百度检索 专利之家网站 检索词及检索策略： 检索词： 1. 汽车制动 2. 能量回收 3. 行星齿轮减速器 4. 齿圈、联动轴组合 5. 制动发电 6. 能量回收 检索式： 1. 汽车制动 and 能量回收 2. （汽车制动 or 行星齿轮减速器 or 齿圈、联动轴组合）and 制动发电 3. 行星齿轮减速器 and 制动发电 and 能量回收	

五. 检索结果

按上述检索词,在以上数据库和文献时限内,查到一些与本课题有关的文献,提供附件(2)份,现对附件摘述如下:

1. [题名] 汽车制动能量回收系统的研究

[作者] 万里翔

[来源] 西南交通大学学位论文

[单位] 西南交通大学

[摘要] 汽车的安全、节能和环保是汽车工业发展过程中需要解决的三大主题。将汽车制动过程中转变为热能的动能以回收,在汽车加速或启动时进行再利用。一方面,改善了汽车的燃油经济性,降低了燃油消耗;另一方面,减少了汽车的废气排放,有利于环境保护;此外,还可显著提高汽车制动系零部件的使用寿命。

1. [题名] 汽车制动能量回收方案及比较

[作者] 许强,张云宁,郭建民,葛灵芝

[来源] 河海大学交通学院,江苏南京 21009

[单位] 河海大学交通学院

[摘要]:为减少制动系统磨损,提高车辆动力性,降低油耗和排放,回收汽车制动时的能量是一种有效的措施。给出回收制动能量的方法,并对各方法进行比较分析,得出一种效率较高的能量回收方法。

六. 查新结论

经对检索出的相关文献进行分析、对比,结论如下:

文献 1:主要陈述了汽车制动能量回收利用的国际现状,提出初步的收集理论,采用飞轮储能装置,由于装置精密程度高,价格较贵,适用范围较小,与本文能量回收的方式有所差异,各有利弊,并不产生冲突

文献 2-4:主要研究了飞轮储能与液压储能的利与弊,对比研究各自的优势,研究出一种更合适使用的储能方式,与文献 1 类似,仅限理论对比,得出对比结论,不与本项目冲突,并未本项目提供了对比的材料

综上所述,我国在汽车制动能量回收系统,回收制动能量为电能方面已有相关研究报道。但

本课题的研究特点是：

1. 将行星齿轮减速器改装为增速器
2. 首次将行星齿轮减速器应用于汽车制动
3. 价格便宜，使用广泛，可操作性高