

汽车尾气余热回收利用装置探索

□ 武汉理工大学/陈自勇 李晓超 郑卫刚

若能将尾气余热回收利用技术应用在改善汽车发动机燃烧性能和降低汽车发动机有害排放方面，那么该技术不仅能提高车用燃料的能量利用效率，还能减少环境污染。

随着经济的快速发展，世界汽车保有量已经突破10亿多辆，其发动机数量巨大，造成了石油消耗量急剧增加。由于化石能源数量有限，如何提高汽车发动机的能量利用效率受到人们的广泛关注。研究表明，汽车发动机的能量利用效率普遍较低，发动机燃料释放的化学能仅有1/3左右被有效利用，大部分能量都以废热形式散失或排放到大气中，这对能源造成了极大的浪费，也给环境带来了不良的影响。若能把汽车尾气中的余热有效利用起来，这将成为降低汽车能耗，提高汽车能量利用效率的有效途径。

尾气余热回收利用技术

汽车发动机废气余热回收利用技术是通过余热回收设备将发动机尾气所含的热量进行回收，将其变为可用能源，实现变废为宝的一种手段。该技术是提高能源利用率、

降低生产成本以及保护环境最有效、最直接的途径之一。

根据当前不同型号的汽车发动机的排量和燃料，汽车尾气排放温度有所差异，一般为400~600℃，尾气中的这部分热量具有很大的利用价值。目前，汽车尾气余热回收利用技术多种多样，其中应用比较广泛的技术包括车厢供暖、制冷、发电以及加热饮食和提供热水淋浴等。但这些技术仅仅局限在改善乘车环境方面，并且对车型的要求较高。若能将尾气余热回收利用技术应用在改善汽车发动机燃烧性能和降低汽车发动机有害排放方面，那么该技术不仅能提高车用燃料的能量利用效率，还能减少环境污染。

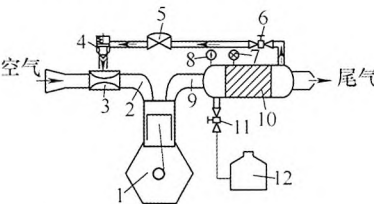
尾气余热利用装置

为了将汽车尾气余热回收利用技术应用在新的领域，笔者提出

一种乙醇水蒸汽重整制氢装置。该装置是基于壳管式换热器的基础上进行设计的，利用换热器的换热特性，将汽车发动机尾气中的能量用于乙醇水蒸汽催化重整。乙醇水蒸汽经过催化重整后，将产生大量的H₂、CH₄和CO等气体，再将这些富氢混合气用于汽车发动机掺烧。研究表明，乙醇水蒸汽催化重整产生的富氢混合气可以加快化石燃料的燃烧速度，有效提高汽车发动机的工作性能，还能减少CO₂、NO_x等有害物质的排放。

该装置的具体工作流程如附图所示。首先，汽车发动机排放的高温尾气从排气管进入余热回收利用装置，该装置将尾气中的能量用于乙醇水蒸汽催化重整。然后，产生的富氢混合气通过压力调节器保持稳定的压力，进入安装在发动机进气管路上的混合器与空气混合，混合器根据发动机的工况调节燃料的

流量，使重整气进入发动机气缸进行掺烧。最后，汽车发动机产生的高温尾气再次进入汽车尾气余热回收利用装置，经过如此循环，实现了汽车发动机尾气余热的利用和汽车发动机掺人烧的目的。



汽车发动机尾气余热回收利用系统原理

- 1.汽车发动机 2.进气管 3.混合器 4.功率阀 5.压力调节器 6.气体控制电磁阀 7.压力表 8.富氢气体导管 9.排气管 10.余热回收利用装置 11.流量计 12.酒精箱

汽车尾气余热回收利用装置的能量分析

1.汽车尾气余热利用装置初始条件的设定

为了对该余热回收利用装置中所涉及的能量变化进行机理分析，特对该装置中涉及到的初始条件和状态参数进行合理的设定。

(1) 装置的内部环境。假设该装置在传热过程中没有其他热损失，含水乙醇和汽车尾气以顺流的方式分别通过该装置的壳程和管程，整个装置内部始终处在标准大气压的条件下。

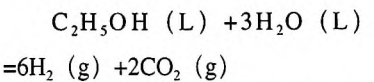
(2) 冷、热流体及其相关参数。根据当前汽车发动机稳定工况下的尾气温度范围（400～600℃），假设汽车发动机尾气温始终维持在550℃，即热流体进口温度 $t_1' = 550^\circ\text{C}$ ；假设汽车尾气全为发动机稳定工况下产生的 CO_2 气体，该装置直接回收利用 CO_2 气体中的余热，为乙醇水蒸汽催化重

整提供能量；热流体中的热量被该装置回收利用后，假设其在出口的温度为 t_1'' 。

将含水乙醇作为汽车尾气余热回收利用装置的冷流体，其从室温条件下进入该装置，设定冷流体进口温度 $t_2' = 25^\circ\text{C}$ ；根据乙醇催化反应的温度范围（200～400℃），假设冷流体在该装置中发生催化反应后的产物温度始终维持在400℃，即出口温度 $t_2'' = 400^\circ\text{C}$ ；再根据汽车发动机掺氢量以及催化反应方程式 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow 6\text{H}_2 + 2\text{CO}_2$ 中各物质的摩尔比，确定冷流体的质量流量。

(3) 装置中所涉及的能量参数。汽车尾气余热回收利用装置中的能量涉及3个部分，其中包括反应热、含水乙醇吸收的热以及汽车尾气中被有效利用的热。

对于反应热 Q_1 ，假设余热回收利用装置中含水乙醇只发生如下反应，并且反应完全：



考虑到反应后 CO_2 和 H_2 的温度都维持在400℃，而反应中的焓变 ΔH 是反应物和生成物在同一温度和压强条件下计算的，那么单位时间内反应所需要的总能量 Q_1 包括反应中的焓变 Q_1' 以及 CO_2 和 H_2 从25℃升温至400℃所吸收的热量 Q_1'' ，则 $Q_1 = Q_1' + Q_1''$ 。

对于含水乙醇吸收的热量 Q_2 ，含水乙醇经过余热回收利用装置的过程中，其温度由25℃上升到400℃，达到反应温度400℃后再发生催化反应，吸收的热量由以下三部分组成：在标准大气压的条

件下，液态的含水乙醇从室温状态升温至发生物相变化时所吸收的热量、乙醇和水分别在78℃、100℃时发生物相变化时吸收的热量、气态的乙醇水蒸汽升温至反应温度400℃时所吸收的热量。则： $Q_2 = Q_{\text{H}_2\text{O}} + Q_{\text{EtOH}}$ ， Q_2 为随后发生的催化反应直接提供能量。

对于汽车尾气中被有效利用的热量 Q_3 ，它是通过余热回收利用装置将汽车尾气中的能量部分转化所得。

2.汽车尾气余热利用装置中的能量计算

(1) 反应所需要的总热量 Q_1 。该能量包括反应物和生成物的焓变 Q_1' 与 CO_2 和 H_2 从25℃升温至400℃所吸收的热量 Q_1'' 。

(2) 冷流体吸收的总能量 Q_2 。根据上节能量参数的设定可知，在标准大气压的条件下，水和乙醇的吸热量分别如下：

$$Q_2 = Q_{\text{H}_2\text{O}} + Q_{\text{EtOH}}$$

(3) 汽车尾气经过该装置后的出口温度 t_1'' 。根据热力学第一定律，汽车尾气放出的热量等于冷流体吸收的热量。

能量校核及装置可行性评估

若汽车尾气中的余热能够通过该装置有效转换成为乙醇水蒸汽发生催化反应所需的能量，那么该装置在汽车尾气余热利用领域将具有较大的研究价值。故此，通过比较 Q_1 和 Q_2 的数值关系，校核冷流体在余热回收利用装置中所吸收的热量是否满足反应所需的能量。再根据能量平衡关系计算的 t_1'' 的数值，校核热流体出口温度 t_1'' 是否大于冷流体发生催化反应后的环境温度

双凸极液冷缓速器线圈设计

□ 江苏精戈机器有限责任公司/顾振华

双凸极液冷缓速器是一种特殊的电涡流缓速器，是目前结构最为简单的缓速器，装配简单且质量轻。制动力矩更大，安全性能更高，能量转换时的热衰退小。

双凸极液冷缓速器是一种特殊的电涡流缓速器，其工作原理与电涡流缓速器的工作原理类似。从能量的角度来说，双凸极液冷缓速器的工作原理是将汽车的动能转化为热能，通过水道中的循环冷却液将

缓速器产生的热量带走，从而实现减速的目的，其三维机构如图1所示。

双凸极液冷缓速器与已有的缓速器相比较，具有以下优点：

(1) 双凸极液冷缓速器是目

前缓速器中结构最为简单的缓速器，仅由转子、定子和线圈组成，装配简单且质量轻。定子安装在缓速器结构的最外侧，半径增加了，制动力矩也随之增大，转子安装缓速器的内侧，使其不易与其他零件

t_2'' 。

根据计算结果：反应所需的能量 $Q_1=6.456\text{kJ/s}$ ，冷流体在余热回收利用装置中所吸收的热量 $Q_2=9.178\text{kJ/s}$ ，则：

$$Q_2>Q_1$$

根据上式可知，冷流体在余热回收利用装置中所吸收的热量可完全满足乙醇水蒸汽重整反应所需的能量。

另外，汽车尾气经过余热回收利用装置后的出口温度 $t_1''=519.778^\circ\text{C}$ ，冷流体在该装置的壳程中经过催化反应后的温度 $t_2''=400^\circ\text{C}$ ，则：

$$t_1''>t_2''$$

根据上式可知，汽车尾气经过该装置的管程后，在装置出口处的温度远远大于装置壳程中的环境温度，这说明汽车尾气能使壳程中的温度始终维持在 400°C ，从而保证了装置中催化反应的持续发生。

通过能量和温度的校核结果，可以判定该装置完全可以将汽车尾气中的余热进行部分回收，为含水乙醇催化重整提供能量，实现汽车发动机尾气余热的利用和汽车发动机掺烧的目的，提高汽车燃料的能量利用效率，减少汽车发动机有害物质的排放。

结语

该汽车尾气余热回收利用装置及其技术在理论上具有较大的可行性，但是对装置和技术的研究还处在试验起步阶段，进一步的研究工作还有待开展。该装置的核心技术和难点在于实现该装置小型化，同时还要兼顾汽车尾气中的余热能够得到最大程度上的利用，为乙醇水蒸汽催化重整提供充足的能量。今后的研究工作应该围绕装置的结构设计进行，使其尺寸能够符合大多数型号的汽车，同时能够通过强化换热的措施，提高该装置对汽车尾气余热的利用效率。AME