

高低压冷却EGR对增压发动机影响研究

王 雪

哈尔滨东安汽车动力股份有限公司 黑龙江 哈尔滨 150000

摘 要: 实验研究了高压尾气循环再造(HP-EGR)和低压废气再循环(LP-EGR)对柴油机燃烧温度、性能和排放的影响。结果:随着EGR频率提高, LP-EGR高低压机压气机的气压比和流速变化不大, 但HP-EGR高低压机压气机压气机从中央高效区向低效率区和流量减少方向移动, 并迅速接近喘振线; 而在低负载下, HP-EGR的燃烧延迟期更长, 预混燃比更高, 点燃时间也更短, NO_x排放量、燃料消耗率与烟灰排放量之间的关系也得以良好的改善。

关键词: 高低压; 冷却 EGR; 增压发动机

1 背景技术

在相关技术中, 发动机EGR系统是一种外部EGR, 它将经过催化转化器的废气引入进气增压器, 然后通过增压器、进气中冷却器和油门进入发动机气缸。冷却EGR在中、高负荷下对爆震有一定的抑制作用, 但在小负荷下对燃烧有不利影响。在EGR增加的小负荷区域, 燃烧会不稳定, 有一定的失火分险^[1]。在中等负荷时, 需要进入气缸的废气温度更低, 这样可以在一定程度上抑制爆震, 在高负荷和功率点时, 需要低废气温度, 这样可以进一步降低外部特性的爆震, 大大提高功率, 降低功率点的排气温度。

2 相关介绍

2.1 什么是EGR系统

废气再循环系统(Exhaust Gas Recirculation), 主要是把点燃后的可燃气体液体混合物中的部分在进气侧和所吸入的清洁气体混合, 再将其重新投入可燃体系。控制系统利用调节EGR阀门的开度来控制进气管的排放量。主要功能在于减少峰值的工作温度和气压, 进而减少废气中NO_x的排放。

2.2 工作原理

EGR控制系统的主要任务, 是使发动机在各工况下的尾气再循环率都获得最佳状况, 使燃烧过程中一直保持在良好状况, 并最终确保对污染组分(特别是NO_x)的污染最小化。所以, EGR系统并不是在任何的发动机条件下都可以工作。

2.3 类型

EGR系统根据其主要特点可以从不同的角度进行分类。

2.3.1 根据EGR控制系统, EGR控制阀有电子控制系统, 包括纯机械控制和电气控制。纯机械控制系统EGR控制阀是由进气歧管真空与排出压力间的压差调节^[2]。它的控制精度较小, 故目前已极少采用。而发动机的电控

装置EGR阀包括了真空控制EGR系统和电动控制EGR系统二类。后二个设计目前都已普遍采用。

2.3.2 根据EGR体系中EGR阀门排压力和工作温度的差异, 把EGR阀门分成高压EGR阀和低温EGR阀。在排放标准为vi的汽车中, 部分安装了双EGR阀门。国家iv国家v排放标准中的EGR阀称为高压EGR阀, 颗粒捕集器(DPF)后端的EGR阀称为低温EGR阀。一些材料把这两类阀叫做高温EGR阀和低温EGR阀。

2.3.3 从构造上来看, 有内部EGR系统与外部EGR系统。主要差别在于尾气如何经由合成气系统流入汽缸。所使用的方式主要是为了提高汽缸的残留废气比率。这种技术的应用效果较差, 且通常很少应用。而外置的EGR技术则是指将汽车尾气经过回收再造后直接连接在废气设备上把废气抽出后再输入合成气装置, 从而使尾气在入气缸时和清新气体完全融合。和内部的EGR技术比较, 外置EGR系统结构复杂, 并能达到对尾气中诸多技术参数的准确检测效果。它具有多种工艺途径, 使用范围很广。

2.3.4 EGR系统有两种类型, 冷EGR和热EGR, 这取决于涉及循环的废气是否冷却。冷EGR系统, 虽然增加了散热器的负担, 但可以有效减少NO_x的排放^[3]。多用在热EGR系统中, 进气温度会升高, 实际进气体积会降低。同时, 对NO_x的减排效果并不明显。虽然结构简单, 但使用较少。

2.4 常见系统简介

2.4.1 真空驱动型的EGR系统

在真空驱动的EGR系统中, EGR阀门在真空或重量标准偏差的空气吸入时启动。在EGR阀门上的真空系统驱动横隔膜运动, 通过阻隔面的拉杆驱动气门运行, 在排气系统再造。排气的循环率决定于EGR阀门开启量、适当的气压, 以及发动机进气管内真空量。真空控制

EGR技术,按照对最大真空量源的控制方法可分为电磁阀线圈最大真空量控制、温度调节器控制以及负压调节器控制。通过EGR的升力感应器(也称为位置传感器)将当前EGR阀门开启度反映到ECU。ECU通过开度测量当前EGR量,并以此控制真空装置的电磁传感器的最大占空比系数,以及横隔膜上的最大真空量。真空驱动EGR系统分为带升力传感器和带不带升力传感器两种。带升力传感器的EGR阀为五线制,不带升力传感器的EGR阀为两线制。

2.4.2 电驱动型EGR系统

电动EGR控制系统通过步进电机、空气流量控制阀和占空比调节式电磁阀,来调节废气系统的再造流量。本系统控制精确,响应较快。EGR控制阀通常包括步进电机控制、大流量阀门控制、电磁阀线圈控制等类型,其中以步进电机控制系统比较普遍^[1]。电控制式EGR控制系统的EGR控制阀通常采用五线制,如带EGR系统的朝柴EDC17CV54。但随着对我国环境保护要求的增加以及对汽车政策的改善,EGR技术在汽车中的运用也日益广泛。为延长系统的使用寿命,使用者应该严格执行车辆的维护规定,尤其注意进气与排气装置的维护。在排气和密闭式循环发生疑似问题后,要按照装置的性质与功能,从简到复杂,循序渐进的排除故障。

3 试验装置和方法

所用发动机为排量1.8L的涡轮增压直喷汽油机。用压缩空气二次稀释试验时,一次稀释比为五,两次稀释比均为20。以WLTC的工况进行了发动机测试,平均速度为2100r/min,平均有效气压(BMEP)为0.44MPa,平均进气温度为21℃。EGR通过单一的供热量制冷。经冷却后,在26℃温度前引入了进气道。发动机采用外部的冷却废气溶液稀释后进气。EGR速率采用手动阀门控制。通过计算进气二氧化碳体积分数与排出的二氧化碳体积分数来计量EGR速率。过剩空气质量稀释后之比是过剩空气质量流速与气体混合物的总质量流速之间的比值。

4 高低压冷却 EGR 对增压发动机影响

4.1 EGR和过量空气稀释对燃烧的影响

在过量气体稀释下的氧体积分数,及其与化学计量比时EGR,表现出了不同的变化。同时由于EGR的引入,还直接导致了发动机中进气的氧容积的明显减少。但在过量空气浓度的稀释下,氧体积分数便已基本稳定,因此过量空气稀释后的氧体积分数均低于在EGR的稀释时的空气体积分数。

4.2 EGR和过量空气稀释对热效率和排放的影响

在空气过度稀释的状况下,随着溶剂稀释效果的增

加,发动机热效率明显提高,当溶剂稀释效果超过21.9%时,发动机热效率增加了6.3%。而在EGR溶剂的稀释状况下,发动机热效率则增加了不足2%。由于溶液稀释后量的增加,节流阀开数增多,泵气损失减少,同时发动机热效率也提高了^[2]。而当EGR的溶液稀释量增加后,由于CO₂和N₂的增加将阻碍燃烧反应,因此延长了燃烧的持续时间,从而导致了燃烧效率和发动机性能都降低,同时发动机效率也下降。

EGR稀释物(化学计量比混合物)的NO_x排放量随着EGR浓度稀释量的提高而明显减少。当EGR稀释量达到21%后,NO_x的排放量就减少了354×10⁻⁶。EGR的引入造成高比热容CO₂和H₂O气体的增多,高工质比热容的增多,以及氧气体积分子的减少,从而引起了燃烧温度的下降,高温富氧环境中温度和氧体积分数的降低,有利于NO_x的形成。过多的空气稀释导致燃烧温度降低,NO_x排放减少甚微。

4.3 EGR和空气复合稀释对颗粒物排放的影响

对于复合在稀释状况下的车辆排放粒径量变化,也开展了统计研究。在过量空气稀释(工况2:2.2)的情况下,由于只有更充足的空气供给和更长的火焰融合持续时间才可以促进融合,从而也就相应降低了局部混合的深厚,使得在较过量空气下的稀释和在相对减少化学重量比下的微粒排放量都相对减少了。而对于在高EGR比和低过量空气的混合比率(工况3:EGR比=15%,1.1/10),由于粒径分布和过量气体浓度稀释时的比较接近,峰值含量也比较大。但在EGR与过度气体稀释的共同影响下,主要是因为燃烧温度的降低抑制了燃料热解形成的初级烟尘颗粒,抑制了H因子(燃烧化学反应中的H离子)的反应,从而使得PN含量明显地减少。

4.4 颗粒物尺寸分布和表面积浓度

在EGR稀释下的颗粒尺寸较大,但在EGR与过量空气混合稀释下的颗粒尺寸远小于在过量空气稀释下的颗粒尺寸^[3]。种模型下的同核模态的累积颗粒浓度差异。EGR在空气稀释状况下,核模含量最大和累计颗粒含量最低;当EGR在与过量空气一起稀释的情况时,累计颗粒含量提高,而核态颗粒含量则下降。充分的空气和更长的火焰发育期时间都可以提高混合原料,也因此减少了局部的混合原料。

4.5 EGR对发动机燃烧过程与性能的影响

当发动机被点燃时,大部分燃料在分散燃烧中被迅速点燃。在汽油发动机燃烧中,大部分燃料在扩散燃烧阶段燃烧。这一阶段是卷烟和PT生产的主要阶段。当EGR应用于汽油发动机时,它不仅改变了充注的成分

(添加CO₂和H₂O蒸汽),还改变了充量的物理状态(温度和压力)。随着EGR的加入,CO₂和H₂O蒸汽稀释了装料中的O₂,从而增加了点火延迟时间,同时增加了燃料气体和合成气体载体的混合温度,从而将气体的自然面积转换为内燃室的侧壁,从而增加引燃火焰的有效体积。增加的火焰体积被大量的废气阻挡,废气吸收了较高燃烧释放的热能,从而大大降低了燃烧温度。点火延迟的增加使整个燃烧过程转向膨胀冲程,从而控制整个燃烧过程和废气的形成。

5 技术控制

5.1 汽油发动机排放控制技术

汽油机尾气排放的控制方法主要采用燃烧控制和催化转化器。燃烧控制主要通过废气再循环(EGR)抑制NO_x生成。废气再循环将部分废气从发动机送回进气管,并与新鲜混合气一起再次进入气缸^[1]。由于废气中CO₂含量高,CO₂在无法燃烧时可以吸收大量热量,从而降低混合物的燃烧温度,并达到抑制NO_x生成的效果。催化转化装置用于在催化剂的作用下,通过氧化反应、还原反应、水性气体反应和蒸汽改质反应,将尾气中的CO、HC和NO_x转化为无害气体CO₂、N₂、H₂和H₂O。汽油蒸发控制系统防止汽油发动机从燃料供应系统蒸发产生的HC化合物泄漏到大气中。其工作原理是使用活性炭将这些汽油废气收集并储存在碳罐中,然后在发动机工作时将其送至气缸燃烧。

5.2 外部EGR技术控制

外部EGR技术则是将尾气循环再造管接在排气控制系统上,将尾气导出并输入进气控制系统,使得尾气在进汽缸前和新鲜空气完全混合。同内部的EGR比较,外部EGR的结构要复杂得多,通常包括EGR阀、EGR冷却器、一些特制的管道,还有附加的电气控制单元等。这也是外部EGR如何实现对废气中的各种参数的精确调整,这也就是外部EGR如何完成对废气中的多种参数的精密调节,以便于最大限度地充分发挥EGR的功能。根据不同的管路接头,外部EGR有许多技术途径。

(1) 高压EGR系统

在集成涡轮增压EGR技术中,引擎的排气系统包括两个部分。一个通过空气涡轮直接为压缩机提供动力,而另一部分则再通过EGR阀进入发动机增压,随后再与增压的清洁空气融合共同为二个压缩机提供动力^[2]。二个引擎可以分别对新鲜空气和废气进行增压。这是当时最新和最先进的EGR技术。不过因为只有二台发动机,超荷的匹配变得麻烦,设计变得复杂,生产成本大大提高。

(2) 低压EGR系统

该系统将废气从涡轮的前端或后侧流出,然后利用EGR阀门和冷却器将其引入压缩机的前端。因为排气压力总是高于环境胁迫,这种连接方法能够顺利实现排气系统。但是,随着尾气在发动机中被带到气体中,尾气中的部分有害物质将会损害发动机,这降低了压缩机的使用寿命。在废气路上配备后处理设备有助于克服这种困难,但却增加了生产成本。因为容易实现,该方法在试验研究中得到普遍采用,而实际生产应用相对较少。

结语

在中低速运行性能与高负荷下,由于EGR速率的增加,与HP-EGR相比,LP-EGR也能够提高了压力控制系统的效率与工作能量,从而显著提高了压缩空气和燃料的当量比,并由此显著改善了NO_x排放量、燃料消耗率和烟尘排放量之间的关系。在中速、高负荷工况下,随着EGR率增加,HP-EGR的进排压力逐步降低,且逐步小于LP-EGR,从而显著减少了泵气损失。

参考文献:

- [1]赵立峰,苏向阳,于秀敏.EGR和稀燃对GDI发动机性能和排放特性的影响[J].内燃机报,2020,38(02):126-132.
- [2]曲明辉,吴良勤,张春润.汽油机NO_x排放控制技术.小型内燃机,2001年第2期柴油车排放污染防治技术政策.科技标准2003-01-13.
- [3]朱赞,董伟,罗坤,等.高低压EGR对增压天然气发动机燃烧与排放的影响[J].车用发动机,2021(5):7.