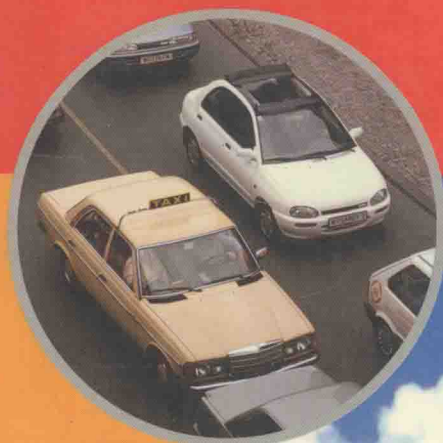
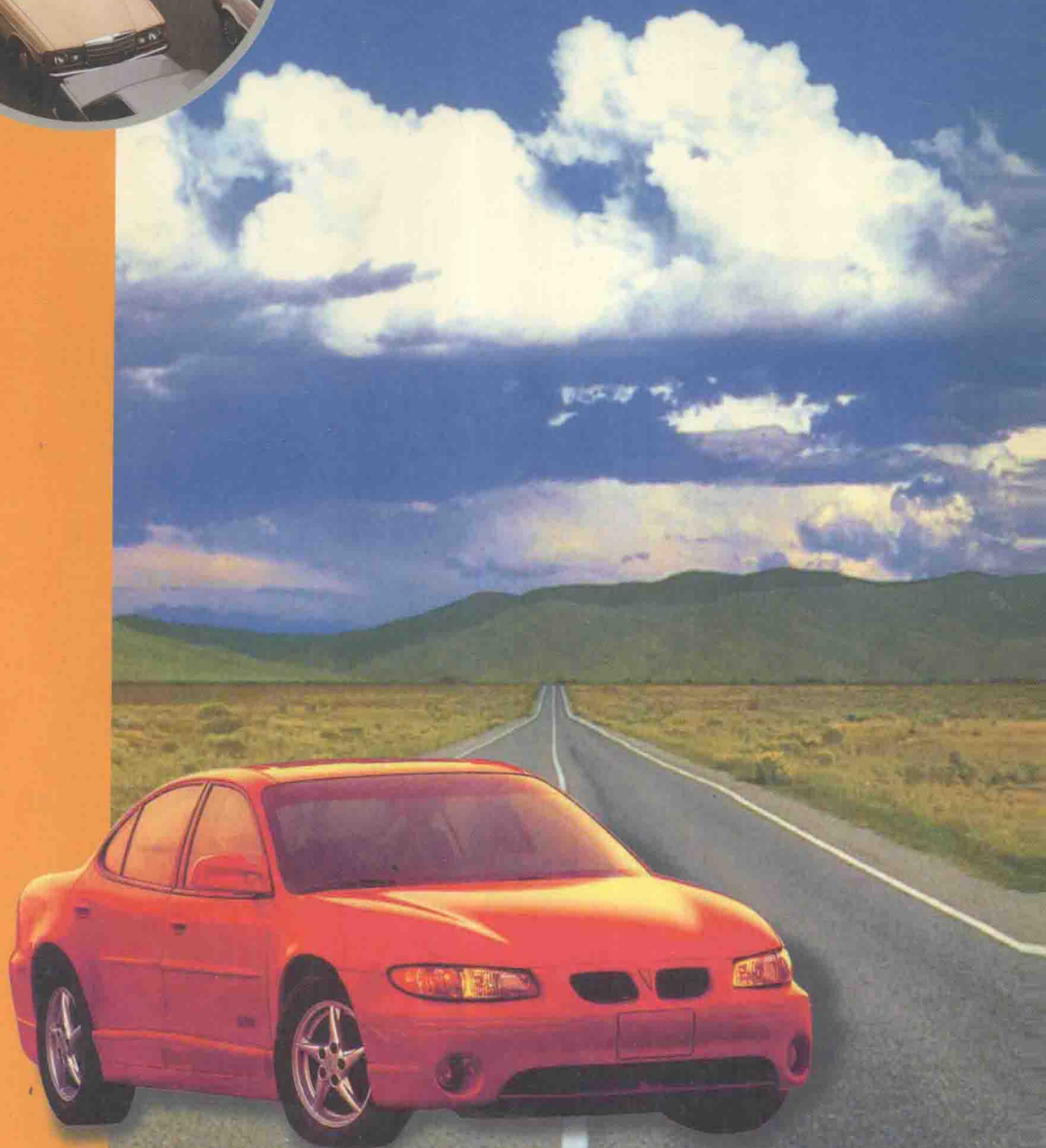


GAS-BURNING CAR

# 燃气汽车



郑耀鹏 黄大新 朱 胜 郑晓华 编著



新疆科技卫生出版社 (K)

# 燃 气 汽 车

郑耀鹏 黄大新 朱 胜 郑晓华 编著

新疆科技卫生出版社(K)

## 图书在版编目 (CIP) 数据

燃气汽车/郑耀鹏著. —乌鲁木齐:新疆科技卫生出版社 (K), 2002. 8

ISBN 7-5372-3168-0

I. 燃... II. 郑... III. ①汽车, 液化石油气—基本知识②汽车, 天然气—基本知识 IV. U469.75

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 054418 号

## 燃 气 汽 车

郑耀鹏 黄大新 朱 胜 郑晓华 编著

---

新疆科技卫生出版社 (K) 出版

(乌鲁木齐市延安路 21 号 邮政编码 830001)

乌鲁木齐市教育印刷厂印刷

787 mm×1092 mm 16 开本 7.75 印张 190 千字

2002 年 7 月第 1 版 2002 年 7 月第 1 次印刷

印数: 1~4 000 册

---

ISBN 7-5372-3168-0/U · 48 定价: 16.00 元

## 前 言

以天然气作为汽车的洁净燃料代替汽油和柴油是近年来世界各国开发推广的一种新能源,是一项高效节能和环境保护新技术,随着城市化进程的加快和汽车数量的急剧增加,在世界能源日趋紧张、大气污染极为严重的今天,大力推广天然气汽车是一项利国利民的大事。

1999年6月,江泽民总书记发出西部大开发的战略号令,国务院也做出了“西气东输”和“以气代油”战略决策,这些为发展天然气汽车提供了难得的历史机遇,面对当前世界存在的能源和污染两大问题,大力发展燃气汽车是解决石油紧缺、调整能源结构、治理汽车尾气污染、提高经济效益、培育新兴产业最有效的途径。

新疆天然气资源十分丰富,吐哈油田天然气输气配套管道工程现已建成,每年可向乌市供气27亿立方米。呼图壁年产150亿立方米的气田现已开发利用,可通过在呼图壁建母站、乌市建于站的形式,用罐车源源不断向乌市供气,这一切都给燃气汽车的发展创造了良好的外部环境。

乌鲁木齐是新疆维吾尔自治区的首府,近年来,在市委、市政府的大力支持下,我们和其他兄弟省市一样,大力推广应用了天然气汽车,到目前为止,我市已改装压缩天然气(CNG)汽车2000辆,建压缩天然气汽车加气站15座,改装液化石油气(LPG)汽车1700多辆,建站13座,市政府决定要在3年内把市区行驶的公交车、中巴车、出租车和小轿车、客货两用车全部改为燃气汽车。

天然气汽车是一项新事物和新技术,需要一大批掌握天然气汽车技术的干部、工人去管理和操作它。为此,我们编写了本书,既可作为交通专业和技工学校必修教材,又可作为改装燃气汽车的技术工人和天然气汽车驾驶员的培训教材,也可作为从事交通和燃气行业管理干部及技术人员学习参考的资料。

本教材共分14章,从汽车发动机原理及排放、汽车发动机供气系统的结构及工作原理等方面,讲述了天然气汽车的基本知识及特性,重点介绍了车用压缩天然气、液化石油气汽车的安装、调试方法及安全操作、故障分析和排除,对柴油机改为柴油—天然气双燃料汽车及天然气、液化石油气汽车和加气站建设等方面进行了较为详细的介绍。

全书由郑耀鹏、黄大新、朱胜、郑晓华主编,教材编出后,承蒙四川重庆建筑大学天然气汽车研究所所长张海辉教授、西安公路交通大学汽车系主任边跃章教授、新疆工学院汽车教研室黄树林教授审阅修改,新疆杜派克清洁能源有限责任公司董事长王亚军亲自为本书题词,在此特向他们深表谢意。

此书于去年以内部刊物形式印刷,经公交公司和公交技校试用,深受欢迎,根据大家意见,今年我们又在去年原稿的基础上进行修改、充实和完善,现由新疆科技卫生出版社(K)正式出版,望能对燃气汽车的推广应用起到抛砖引玉的作用。

由于时间短,经验不足,参考资料有限,所以此教材在编写中仍然会有不妥之处,欢迎大家批评指正。

编 者

2002年6月

# 目 录

## 前 言

|                                         |    |
|-----------------------------------------|----|
| <b>第一章 汽车发动机工作原理及尾气排放</b> .....         | 1  |
| 第一节 汽车总体构造、发动机类型及燃料 .....               | 1  |
| 第二节 发动机工作原理.....                        | 3  |
| 第三节 发动机主要性能指标与特性.....                   | 6  |
| 第四节 汽车的尾气排放.....                        | 9  |
| <b>第二章 燃气发动机</b> .....                  | 12 |
| 第一节 气体燃料 .....                          | 12 |
| 第二节 气体燃料发动机 .....                       | 13 |
| 第三节 双燃料发动机 .....                        | 16 |
| 第四节 双燃料发动机的结构与原理 .....                  | 18 |
| <b>第三章 燃气汽车</b> .....                   | 22 |
| 第一节 燃气汽车概述 .....                        | 22 |
| 第二节 压缩天然气汽车 .....                       | 23 |
| 第三节 压缩天然气汽车的特点 .....                    | 26 |
| 第四节 天然气技术发展趋势与前景 .....                  | 27 |
| 第五节 天然气汽车新技术 .....                      | 29 |
| <b>第四章 天然气汽车供气系统的结构与工作原理</b> .....      | 34 |
| 第一节 预混合点燃式压缩天然气(CNG)汽车供气系统结构和工作原理 ..... | 34 |
| 第二节 预混合压燃式天然气汽车供气系统结构和工作原理 .....        | 41 |
| <b>第五章 天然气—汽油(柴油)汽车专用装置的安装</b> .....    | 48 |
| 第一节 在用汽油车装用压缩天然气技术条件 .....              | 48 |
| 第二节 压缩天然气—汽油双燃料汽车改装操作规程 .....           | 51 |
| 第三节 在用柴油车装用压缩天然气技术条件 .....              | 52 |
| <b>第六章 天然气汽车安全操作规程</b> .....            | 54 |
| 第一节 汽油—天然气双燃料汽车安全操作规程 .....             | 54 |
| 第二节 柴油—天然气双燃料汽车安全操作规程 .....             | 56 |
| <b>第七章 天然气汽车的调试</b> .....               | 58 |
| 第一节 汽油—天然气双燃料汽车的调试 .....                | 58 |
| 第二节 柴油—天然气双燃料汽车的调试 .....                | 61 |
| <b>第八章 天然气汽车的检测</b> .....               | 63 |
| 第一节 CNG 改装的工艺技术检验标准 .....               | 63 |

|             |                                |            |
|-------------|--------------------------------|------------|
| 第二节         | 天然气汽车改装后的检测技术 .....            | 64         |
| <b>第九章</b>  | <b>天然气汽车的维护和保养 .....</b>       | <b>66</b>  |
| 第一节         | 天然气—汽油双燃料汽车的维护和保养 .....        | 66         |
| 第二节         | 天然气—柴油双燃料汽车的维护和保养 .....        | 69         |
| <b>第十章</b>  | <b>天然气汽车的故障分析与排除 .....</b>     | <b>71</b>  |
| 第一节         | 天然气—汽油双燃料汽车的故障和诊断 .....        | 71         |
| 第二节         | 天然气—柴油双燃料汽车的故障和诊断 .....        | 75         |
| <b>第十一章</b> | <b>液化石油气汽车 .....</b>           | <b>77</b>  |
| 第一节         | 车用 LPG 的主要特性 .....             | 77         |
| 第二节         | 液化石油气汽车的特点及操作程序 .....          | 79         |
| 第三节         | 车用 LPG 装置的构成和工作原理 .....        | 80         |
| 第四节         | 液化石油气汽车专用装置和安装要求 .....         | 82         |
| 第五节         | 液化石油气汽车调试及使用 .....             | 84         |
| <b>第十二章</b> | <b>液化天然气汽车 .....</b>           | <b>86</b>  |
| 第一节         | 液化天然气汽车的结构及发展 .....            | 86         |
| 第二节         | 液化天然气加气站及其汽化技术 .....           | 90         |
| 第三节         | 天然气液化及储运技术 .....               | 91         |
| <b>第十三章</b> | <b>压缩天然气加气站及液化石油气加气站 .....</b> | <b>95</b>  |
| 第一节         | 压缩天然气加气站 .....                 | 95         |
| 第二节         | 液化石油气加气站 .....                 | 105        |
| 第三节         | 典型加气站介绍 .....                  | 106        |
| <b>第十四章</b> | <b>电控喷气技术简介 .....</b>          | <b>108</b> |
| <b>附录一</b>  | <b>压缩天然气汽车专用装置和安装要求 .....</b>  | <b>110</b> |
| <b>附录二</b>  | <b>液化石油气汽车专用装置和安装要求 .....</b>  | <b>115</b> |

# 第一章 汽车发动机工作原理及尾气排放

## 第一节 汽车总体构造、发动机类型及燃料

### 一、总体构造

汽车由发动机、底盘、车身、电器设备四大部分组成，一般载货汽车总体结构如图 1-1 所示。

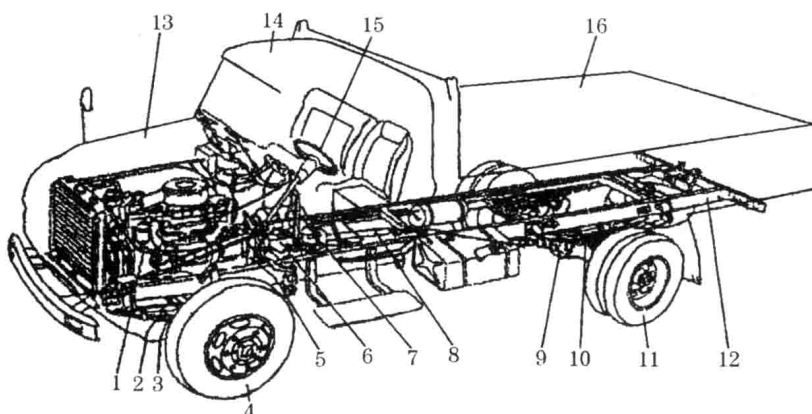


图 1-1 载货汽车的总体结构

1. 发动机；2. 前轴；3. 前悬架；4. 转向车轮；5. 离合器；6. 变速器；7. 手制动器；8. 传动轴；  
9. 驱动桥；10. 后悬架；11. 驱动车轮；12. 车架；13. 车前翼制板；14. 驾驶室；15. 转向盘；16. 车箱

在普通燃油汽车的基础上，只需加装一套压缩天然气(CNG)或液化石油(LPG)的供气装置和燃料转换系统，就可将原车改装成“绿色”的两用双燃料汽车(图 1-2)。

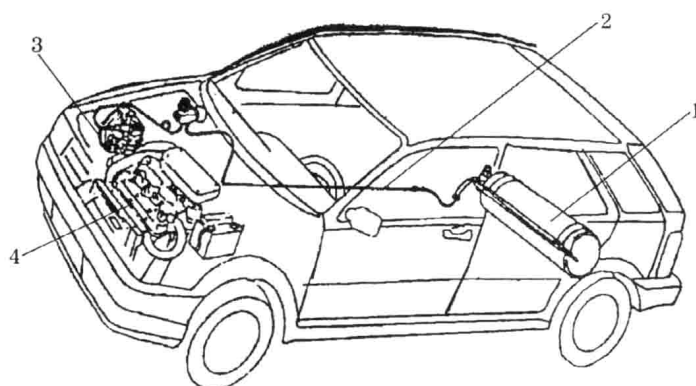


图 1-2 改装后的天然气—汽油双燃料汽车

1. 天然气燃料贮气瓶；2. 天然气供气管路；3. 天然气减压装置；4. 发动机

发动机是汽车的动力装置，它的总体结构是由曲柄连杆机构、配气机构、燃料供给系、点火系

(点燃式发动机)、润滑系、冷却系和起动系等部件组成的。

发动机的功能是使供入其中的燃料燃烧后产生动力(将热能转变为机械能),然后通过底盘的传动系结构驱动车轮使汽车行驶。

## 二、汽车发动机的类型

目前,汽车发动机基本上采用往复式活塞式内燃机,根据不同特征,发动机可进行以下分类:

1. 按完成一个工作循环所需活塞行程数

可分为四冲程发动机和二冲程发动机。

2. 按所用燃料不同

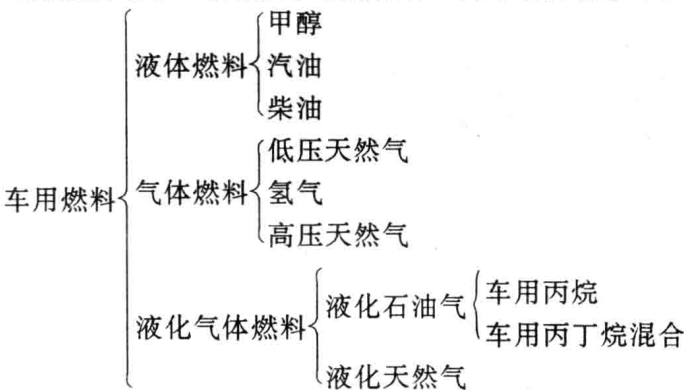
主要分为汽油发动机、柴油发动机、液化石油气发动机、天然气发动机等。

3. 按着火方式不同

发动机可分为点燃式发动机、压缩式发动机。

## 三、车用燃料的分类

车用燃料通常可根据其在使用条件下的形态分为以下几类:



1. 液体燃料

主要指各种牌号的汽油和柴油,它们是石油炼制厂生产的多碳烷烃、环烷烃和芳香烃的混合物,具有分子量大,H/C 比小,常温常压下为液体等特点。常温常压下为液体的特性,给运输、储存、分配、携带和使用都带来了方便,其储存和分散、包装系统,包括汽车载油箱,均可按常压设计,因而设备壁薄、重量轻。

但由于液体燃料分子量大,H/C 比小,导致燃烧不可能完全,使汽车排气中的有害成分含量较高,对大气造成较严重污染。

2. 气体燃料

气体燃料主要指达到车用质量要求的气态天然气,其主要成分为甲烷。车用天然气按其压力可分为低压气和高压气。低压气即橡胶袋气包车用天然气,因其体积庞大,车辆行驶不便、不安全等因素,已基本被淘汰,国内四川泸州地区尚存留一些天然气气包车,也很快将被淘汰。高压气就是压缩天然气(CNG),即通过压缩后的高压天然气。当前已具备了一整套工艺及配套技术,是发展和推广天然气汽车的基本条件。

气体燃料还有氢气,氢气主要从水中进行裂解制取以及来源于各种工业副产品,尽管氢气没有较大的自然储量,但作为氢气来源的水资源却十分丰富,而且氢气燃烧后又生成水,形成了资源的

快速循环。

### 3. 液化气体燃料

液化气体燃料主要指符合车用要求的液化石油气(LPG)和液化天然气(LNG)。液化石油气有车用丙烷和车用丙丁烷混合物两种,车用丙烷主要由丙烷和少量丁烷组成,可作为较低气温条件下的车用燃料。车用丙丁烷混合物,主要由丙烷、丁烷及少量戊烷组成,可作为一般环境条件下的车用燃料。LPG 和 LNG 都是根据其组分特性,通过一定方式液化了的气体。

## 第二节 发动机工作原理

在发动机内燃料燃烧产生的热能转化为机械能需经过一系列连续的(进气、压缩、做功、排气)过程。每一次这样的一系列连续过程,称为发动机的一个工作循环。

对于车用往复活塞式内燃机,凡是活塞往复四个行程,曲轴转两圈完成一个工作循环的,称为四行程发动机;活塞往复两个行程,曲轴转一圈完成一个工作循环的为二行程发动机。

汽车大多采用四行程发动机。

### 一、点燃式发动机工作原理

在这里,分别阐述汽油机和预混合点燃式天然气(液化气)发动机的工作原理。

汽油机的动力来源于汽油燃烧产生的热能,而汽油在气缸内燃烧时需要足够的空气。汽油要能在发动机内迅速很好的燃烧,首先必须使液态的汽油喷成雾状(雾化),并促使其蒸发(汽化),然后与适量的空气均匀地混合。这种按一定比例混合的汽油与空气的混合物称为可燃混合气,可燃混合气中燃油含量的多少,称为可燃混合气的浓度。

天然气(液化气)发动机的动力来源于天然气(液化气)燃烧产生的热能,天然气(液化气)在发动机气缸内燃烧需要一定数量的空气。由于天然气(液化气)与空气同为气相,因此,天然气(液化气)在发动机气缸内的燃烧较为充分。

如何根据发动机不同工况的要求,配制出相应浓度和数量的可燃混合气并及时供入发动机气缸,是发动机工作中一个关键的问题。它会对发动机的动力性,燃料经济性,排气污染的大小起着重要的影响。良好的动力性,燃料经济性,尤其是降低排气污染是现代汽车的发展方向。

汽车用四行程发动机的工作循环包括进气、压缩、做功、排气 4 个内容。

#### 1. 进气行程(图 1-3a)

进气时排气门关闭,进气门开启,发动机活塞被曲轴带动从上止点向下止点移动一个行程。

对于汽油机,预先混合好的可燃混合气经进气管,进气门吸入气缸。

对于燃气发动机,由燃气和空气混合而成的混合气经进气管、进气门吸入气缸,进入气缸内燃气气体的数量多少将会对发动机的动力有较大影响。可燃混合气充满气缸的程度用充气系数  $\eta_v$  表示,充气系数是指进气行程中实际进入气缸的可燃混合气质量  $\Delta m$  与大气压力温度条件下充满气缸工作容积的可燃混合气质量  $\Delta m_c$  之比。

$$\eta_v = \frac{\Delta m}{\Delta m_c}$$

充气系数愈大,进入气缸内的可燃混合气就愈多,可燃混合气燃烧时所放出的热量就愈多,因而发动机的功率愈大。

## 2. 压缩行程(图 1-3b)

为了提高工作循环的热效率,让可燃混合气能够迅速、完全、集中地燃烧,从而使发动机能够产生更大的功率,必须将进入气缸的可燃混合气进行压缩。

压缩时,进、排气门均关闭,活塞由下止点转而向上止点移动,混合气受到压缩,其温度和压力不断升高,压缩行程一直继续到活塞到达上止点时为止。

压缩比愈大,在压缩终了时,混合气的压力和温度便愈高,燃烧速度也愈快,因而发动机发出的功率愈大,经济性愈好。但对汽油机来说,压缩比不宜过大,否则会出现爆燃和表面点火等不正常现象。

天然气由于抗爆性比汽油好,因此天然气发动机的压缩比可以大一些。

## 3. 作功行程(图 1-3c)

在这个行程中,进、排气门仍旧关闭。当发动机的活塞接近上止点时,装在气缸盖上的火花塞发出电火花,点燃汽油机或天然气发动机被压缩的可燃混合气,可燃混合气燃烧放出大量的热能,燃气的压力温度迅速增加,最高压力为  $3\,000\sim5\,000\text{ kPa}$ ,最高温度可达  $2\,200\sim2\,800\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。高温高压燃气迅速膨胀,推动活塞从上止点向下止点运动,通过连杆使曲轴旋转并输出机械能。随着活塞下移,气体压力和温度降低,在活塞到达下止点时做功行程结束。

## 4. 排气行程(图 1-3d)

汽油机或天然气发动机燃烧做功后生成的废气必须从气缸中排除,当膨胀做功接近终了时,排气门开启进行排气,排气过程中,一方面靠废气的压力进行自由排气,另一方面靠活塞由下止点向上止点运动时将废气强制性地排到大气中。

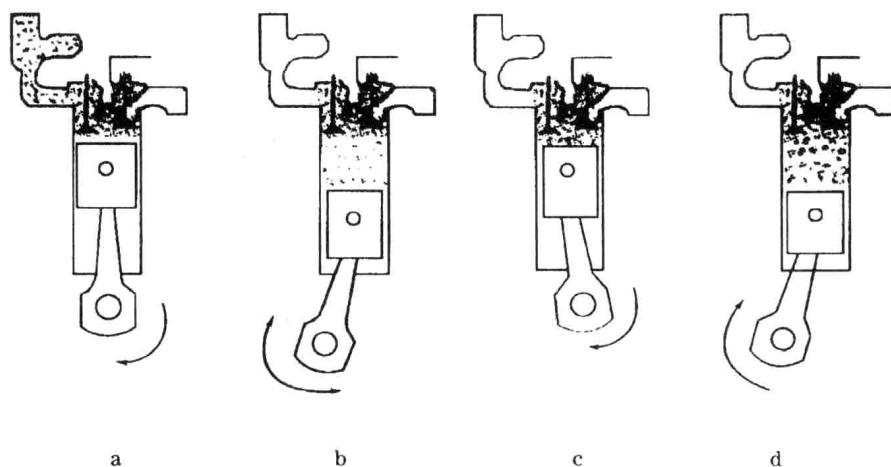


图 1-3 四行程发动机工作过程图

由上述分析可知点燃式天然气发动机的工作原理与汽油机一样,每个工作循环也经历与汽油机相同的进气、压缩、作功、排气四个过程。惟一不同的是汽油机进入气缸的是由汽油和空气混合而成的可燃混合气,而天然气发动机进入气缸的是由天然气和空气混合而成的可燃混合气。

目前的点燃式天然气发动机大多是在汽油机基础上改制而成。因此,它的工作原理与汽油机有许多相同之处。而且天然气的燃点和抗爆性较好,使得天然气发动机不易早燃和爆烧,燃烧状况比汽油机要好。

## 二、压燃式发动机工作原理

在这里分别叙述柴油发动机和压燃式天然气发动机(即天然气—柴油发动机)的工作原理。

### (一)柴油发动机

柴油发动机是典型的压燃式发动机。柴油机的工作原理大体与汽油发动机工作原理一样,每个工作循环也经历进气、压缩、作功、排气四个行程。但柴油机用的燃料是柴油,而柴油的性能与汽油有很大不同。柴油的粘度比汽油大,而且柴油不易蒸发,因此柴油发动机混合气的形成是在气缸内部,而汽油机混合气的形成都是在气缸外部。柴油机在进气行程中吸入的是纯空气,压缩行程中把气缸内的空气压缩,在压缩接近终了时,柴油经喷油泵提高油压后,通过喷油器将柴油喷入气缸。由于柴油机压缩比较大(一般为16~22),所以在压缩终了时气缸内的压力可达3 500~4 500 kPa,同时温度可达到750~1 000℃,大大超过柴油的自燃温度(603℃),故喷入气缸的柴油与压缩好的高温空气在很短时间内便混合雾化,并立即自行发火燃烧,即不用点燃,可自行压燃做功。

柴油机燃烧做功时,气缸内燃气压力可急速上升到6 000~9 000 kPa,温度上升到2 000~2 500℃,保证柴油机能够产生较大的动力。

燃烧作功后,柴油机在排气行程中,把气缸废气排出。

由上所述可以看出,与汽油机相比,柴油机有以下特点:

- (1) 燃料与汽油机不同(柴油机的燃料是柴油,柴油粘度大,蒸发性差,但自燃点低)。
- (2) 混合气方式与汽油不同(柴油机是在气缸内部混合的)。
- (3) 着火方式不同于汽油机(柴油机可自行压燃,而汽油机需专用点火系点燃)。
- (4) 压缩比不同(柴油机的压缩比较汽油机大)。

正是由于这些因素,使得柴油机与汽油机在结构和原理上出现了某些不同之处。

### (二)压燃式天然气发动机

压燃式天然气发动机的工作过程比柴油机要复杂一些,我们目前使用的压燃式天然气发动机大多是预混合天然气—柴油双燃料发动机。这种形式的发动机在进气行程中,进入气缸的是预先在气缸外由天然气和空气混合而成的可燃混合气。天然气自燃点高,不易自行燃烧,因此,在气缸压缩接近终了时,可使少量柴油喷入气缸。柴油被压燃后,再将气缸中大部分由天然气和空气混合的气体点燃,这时即可燃烧作功,最后将废气排出。

压燃式天然气—柴油双燃料发动机需同时具备柴油供给和天然气供给两套系统,因此结构比较复杂。

## 三、燃气汽车发动机工作形式

天然气汽车发动机按照燃料混合、点火和燃烧方式不同可分成以下几种形式。

### 1. 按点火方式不同分为电火花点火式和柴油引燃式

由于天然气的着火温度较高,发动机压缩过程中缸内气体温度达不到其自燃点,因此必须靠电火花点燃,或者喷入少量柴油,首先被压燃再引燃天然气。

### 2. 按供气方式不同分为缸外(进气管)预混合供气和缸内直接喷气

缸外预混合供气常采用将气体燃料联通到发动机进气管上的空气—燃料混合器上,通过混合器将比例合适的混合气供给气缸;缸内直接喷气是将气体燃料用装置于发动机缸盖上的喷嘴以一定的压力将其直接喷入到气缸中。一般喷气过程在发动机进气门关闭到点火之前完成,还有在压缩

过程终了喷气、边燃烧边喷气等形式。

### 3. 按燃烧方式可分为预混合燃烧和扩散燃烧

预混合燃烧是指在发动机点火系统点火或引燃柴油自燃前,进入气缸内的气体与空气预先混合均匀,此时缸内各处的混合比是一致的;而扩散燃烧是指气体燃料以一定提前量在点火或引燃前喷入缸内,因而在着火时,缸内燃料与空气并未混合均匀,燃料边扩散、边燃烧。

除此之外,还可按控制方式分为机械控制式和电子控制式,按增压与否分为增压与非增压等形式。

## 第三节 发动机主要性能指标与特性

### 一、发动机主要性能指标

发动机的主要性能指标有动力性指标(有效扭矩、有效功率、平均有效压力等)和经济性指标(燃油消耗率)。

#### 1. 有效扭矩

发动机通过飞轮对外输出的扭矩称为有效扭矩,通常以  $M_e$  表示,单位为  $N \cdot m$ 。有效扭矩与外界施加于发动机曲轴上的阻力矩相平衡。

#### 2. 有效功率

发动机通过飞轮对外输出的功率称为发动机的有效功率,用  $N_e$  表示,单位为  $kW$ 。它等于有效扭矩与曲轴角速度的乘积。发动机的有效功率可以用台架试验方法测定。

用测功器测定有效扭矩和曲轴转速,然后用以下的公式算出发动机有效功率:

$$N_e = M_e \times \frac{2\pi n}{60} \times \frac{1}{10} \times \frac{Me \times n}{9550} (kW)$$

式中: $n$  为发动机转速;

$\tau$  为冲程数;

$i$  为气缸数; $V_h$  为气缸的工作容积。

发动机产品铭牌上标明的功率及相应转速称为额定功率和额定转速。按照汽车发动机可靠性试验方法的规定,汽车发动机应能在额定工况下连续运行 300~1 000h。

#### 3. 平均有效压力

平均有效压力为  $P_e$ ,是发动机每工作循环中单位气缸工作容积所发出的有效功,它是从发动机实际输出的角度来评价气缸工作容积的利用程度。与平均指示压力相似,它也可视为一个假想的、定值的压力作用在活塞顶上。平均有效压力是衡量发动机动力性能的一个很重要的参数,在其他条件相同时, $P_e$  值愈高,发动机的动力性愈好。

$$P_e = \frac{30\tau N_e}{V_{hin}} (MPa)$$

#### 4. 燃油消耗率

发动机每作出  $1 kW \cdot h$  能量所消耗的燃油质量(以  $g$  为单位)称为燃油消耗率,用  $g_e$  表示。很明显,燃油消耗率越低,经济性越好。

燃油消耗率按下式计算:

$$g_e = \frac{G_1}{N_e} \times 10^3 [g/(kW \cdot h)]$$

式中:  $G_2$  为发动机每单位时间的耗油量, kg/h;

$N_e$  为发动机的有效功率, kW。

## 二、负荷特性

内燃机的负荷特性是指内燃机转速不变时, 其他性能参数随负荷而变化的关系。负荷特性是发动机最基本的特性, 根据各种转速下的负荷特性, 可以绘制万有特性。

### 1. 汽油机的负荷特性

汽油机的负荷是靠改变节气门开度, 从而改变进入气缸的混合气量来调节的“量调节”, 其特性也称为节流特性。

图 1-4 所示为 Q6100-I 型汽油机的负荷特性。

转速一定时, 每小时燃油消耗量  $G_f$  主要决定于节气门开度和混合气浓度。随着节气门开度加大, 充入气缸的混合气量迅速增加, 因而  $G_f$  随之增加。在节气门开度增大到 70%~80% 后, 由于化油器中的省油器开始起作用, 使混合气变浓, 此时  $G_f$  增加更快。

发动机的机械损失主要与转速有关, 当转速一定时, 平均机械损失压力  $P_m$  几乎不变。当发动机空负荷运转时, 有效功率为零, 发动机的指示功完全用于克服发动机的内部阻力, 因此, 空负荷时机械效率为零, 而燃油消耗率为无穷大。

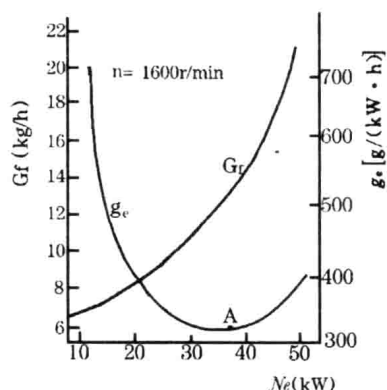


图 1-4 Q6100-I 型汽油机的负荷特性 ( $n=1600\text{r/min}$ )

### 2. 柴油机的负荷特性

柴油机在运转中, 充气量变化不大, 主要是通过改变每循环供油量来控制混合气的浓度, 从而调节柴油机的负荷, 我们把这称为“质调节”。

柴油机增加负荷就意味着增加每循环供油量, 所以每小时的耗油量  $G_f$  随负荷增加而增加, 而过量空气系数随负荷增加而减少; 供油量多, 缸内的燃气放热也多, 使排气温度随负荷增加而升高。

燃油消耗率的变化规律是随着负荷增加, 机械效率迅速上升, 燃油消耗率下降, 并达到一个最小值; 再继续增加负荷, 由于减小混合气形成时间和燃烧恶化燃油消耗率反而升高。

图 1-5 所示为 6135Q 型柴油机的负荷特性。从柴油机的负荷特性还可看出, 与汽油机相比, 柴油机油耗率曲线较汽油机的低, 而且曲线随负荷的变化也比较平坦, 这说明柴油机不仅具有高的燃料经济性, 而且在负荷变化较宽广的范围内仍能比较经济地工作。这对于负荷变化较大的汽车发动机来说是非常有利的。

## 三、速度特性

当内燃机的燃料供给调节机构(节气阀或喷油泵调节杆)位置一定时, 内燃机的性能参数( $N_e$ 、 $M_e$ 、 $G_e$  等)随转速变化的关系称为速度特性。

### 1. 汽油机的速度特性

汽油机的速度特性是在节气门开度一定、点火提前角和化油器按使用工况调整完好的情况下, 发动机的各种参数随转速变化的规律。当节气门全开时, 所测得的速度特性为全负荷的速度特性(或称为外特性)。节气门部分打开时所测得的速度特性, 称为部分负荷的速度特性(或称部分特性)。图 1-6 所示为 Q6100-I 型汽油机的速度特性。

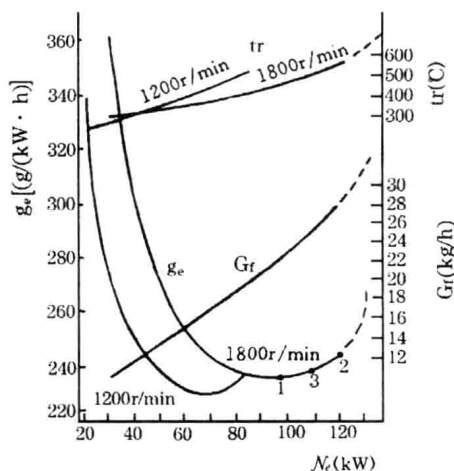


图 1-5 6135Q 型柴油机的负荷特性

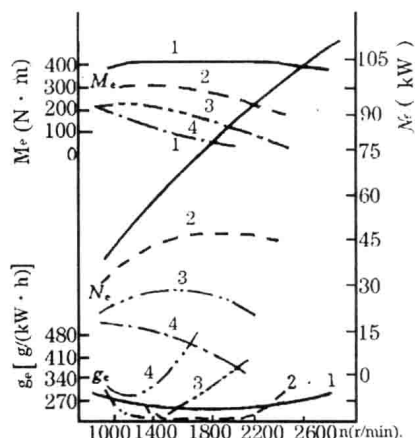


图 1-6 Q6100-I 型汽油机的速度特性

1. 全负荷; 2. 75% 负荷; 3. 50% 负荷; 4. 25% 负荷

发动机的外特性表示不同转速下发动机所能发出的最大扭矩和最大功率,代表了发动机所能达到的最高动力性能。同时,一般发动机铭牌上标明的功率、扭矩及其相应的转速都是以外特性为依据的。因此在速度特性中,以外特性为最重要。

## 2. 柴油机的速度特性

柴油机的速度特性是当喷油泵调节杆(拉杆或齿杆)位置一定时,发动机的性能参数随转速变化的关系。当喷油泵调节杆限定在标定功率位置时,测得的速度特性为全负荷的速度特性。例如 6135K6 型柴油机外特性曲线(图 1-7)。调节杆固定在小于标定功率位置所测得的速度特性,为部分负荷的速度特性(图 1-8)。

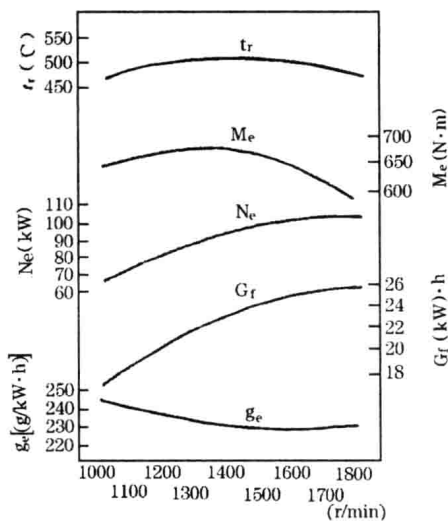


图 1-7 6135K6 型柴油机外特性

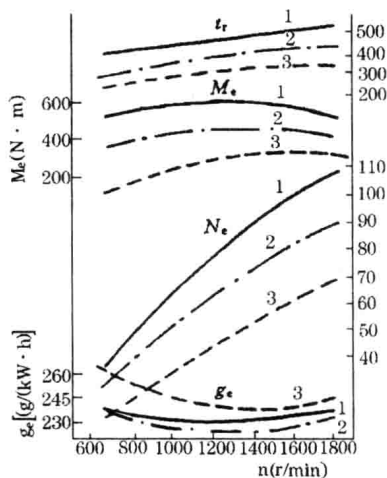


图 1-8 6135 型柴油机部分负荷速度特性

1. 90% 负荷; 2. 75% 负荷; 3. 50% 负荷

## 第四节 汽车的尾气排放

### 一、汽车尾气排放是城市主要污染源之一

随着现代社会、经济的发展,人类赖以生存的环境遭到了不同程度的破坏,特别是汽油为燃料的汽车数量急剧增加,引起的环境污染日趋严重,已成为城市大气污染的主要因素,严重危害人们的身体健康。在我国,随着改革开放的深入,汽车作为一种现代化的交通工具,其社会保有量呈迅速增长趋势。我国大多数城市大气污染严重,而汽车尾气又是主要污染源。

降低汽车尾气排放对改善城市大气环境具有非常重要的作用。环境监测数据的分析表明,汽车尾气排放是城市大气污染的主要来源之一。北京市机动车尾气排放对大气污染物 CO、HC、NO<sub>x</sub> 的分担率分别为 63.4%、73.5%和 46%,非采暖期分担率更高,分别为 80.3%、79.1%和 54.8%;上海市中心地区机动车尾气排放对大气污染物中 CO、CH、NO<sub>x</sub> 的分担率分别为 86%、96%和 56%;广州、天津、重庆等许多大中型城市具有类似的情况。据 1997 年全国环境检测网公布的环境质量周报资料,广州有 94%的周次,北京有 52%的周次首要污染物为氮氧化物。许多城市氮氧化物和一氧化碳污染物浓度呈上升趋势,而造成城市氮氧化物浓度上升的主要原因之一是汽车尾气排放。同时,由于机动车是低空排放,对低空大气环境污染和人体健康危害更大。

据测定,目前汽车排放的尾气中,含有大量的一氧化碳、碳氢化合物、多氧烯苯、铅化物及氧氮化合物等对人畜危害极大的有毒有害气体。其中一氧化碳含量约占 70%,当它进入人体呼吸道,可随时诱发心绞痛和冠心病。进入血液,与红细胞结合使其失去携带氧的功能,当大气中 CO 浓度达到 0.07‰~0.08‰时,人体中一氧化碳血红蛋白浓度可达 10%,由于缺氧,人将出现气急、紫绀、心痛、心跳等症状,当体内一氧化碳血红蛋白达 20%时,将引起中毒,如达 60%,将会发生窒息死亡。

HC 中的甲醛、丙烯醛对人的鼻、眼和呼吸道粘膜有刺激作用,可引发鼻炎、支气管炎等症状。HC 中的多环芳香烃(苯并芘等)是强致癌物,烃类还是导致光化学烟雾的主要物质。

NO<sub>x</sub> 是一氧化氮(NO)和二氧化氮(NO<sub>2</sub>)的总称。高浓度的 NO 能引起神经中枢障碍,且易氧化成剧毒的 NO<sub>2</sub>;NO<sub>2</sub> 吸入肺部后,与肺部的水分结合,生成可溶性硝酸,引发肺气肿。当 NO<sub>x</sub> 达 0.005‰时将使人陷入危险状态(HC 和 NO<sub>x</sub> 在强烈紫外线照射下,经过一系列光化学反应会生成臭氧、过氧化酰硝酸酯、氧化剂、二氧化氮而形成光化学烟雾,对动植物都有严重危害)。

SO<sub>2</sub> 有强烈的气味,刺激人的咽喉和眼睛,浓度达 0.01‰感觉明显,如浓度达到 0.04‰会随雨雪降落形成“酸雨”,酸化土壤水源,破坏农林,腐蚀建筑。

碳烟对人的呼吸系统有害,它的微粒孔隙中容易吸附二氧化碳,以及有致癌作用的多环芳香烃和苯。

作为汽油抗爆剂的四乙基铅[Pb(C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>)<sub>4</sub>],燃烧生成铅化物微粒,散入大气中的铅化物微粒被吸入人体积累到一定程度时,将阻碍红血球生长成熟,使心、肺病变,侵入大脑引起头痛并出现精神病症状,特别是对儿童身心发育影响最大,导致儿童智力下降,发育不良。

据对中国 20 个大中城市的统计结果表明:排除车祸因素,每年仅因大区污染得慢性支气管炎的约有 150 万人,死于呼吸系统疾病的有 2.3 万人,肺心病患者有 17.7 万人,因此症而死亡的达 1.3 万人。由此可见,汽车尾气对环境的污染,已经成为现代社会无形的“杀手”。

## 二、汽车排放污染物的产生与危害

### 1. CO

对于点燃式发动机,CO 的产生首先是由于浓混合气的燃烧(过量空气系数  $\alpha$  小于 1.0)及雾化不良造成的,在柴油机中,CO 主要是由于燃烧室内局部缺氧或温度较低造成的。

CO 是无色、无臭的有毒气体,虽然它对人的呼吸道无直接作用,但被吸入人体后就能以比氧强 210 倍的亲和力同血液中的血红蛋白结合,形成碳氧血红蛋白,阻止血液向心、脑等器官输送氧气,这时人会发生恶心、头晕和四肢无力等缺氧症状,严重时会导致窒息死亡。

### 2. HC

HC 排放的来源包括活塞环以上的活塞和气缸壁之间的“缝隙”容积和紧挨着燃烧室壁的淬火层。在压缩和燃烧时未燃烧的混合气被迫进入这些缝隙,在膨胀后期和排气冲程时排出。另外非正常工作如气缸缺火,可引起大量的未燃烧燃料进入废气。在非常稀的混合气中,火焰传播速度太慢,在燃烧过程中燃料不能完全燃烧,或者在某些循环中燃烧未进行。这些情况都会引起非常高的 HC 排放。柴油机的 HC 排放可出现在低负荷,空燃比大的难以燃烧的稀混合气。其他 HC 的来源包括由于喷射过程中在燃烧室壁上沉积的燃料、残留在喷油器喷孔上的燃料在燃烧后期才蒸发,以及由于与空气混合的太快而形成空间局部冷却的混合气等。

未燃碳氢化合物包括未燃和未完全燃烧的燃油、润滑油及其裂解产物和部分氧化产物,有时简称未燃烃。人体内吸收较多的未燃烃,会破坏造血机能,造成贫血、神经衰弱,并会降低肺对传染病的抵抗力。

### 3. NO<sub>x</sub>

NO 和 NO<sub>2</sub> 都是由氮气和自由氧在高温下反应形成的。大部分 NO<sub>x</sub> 最终形成于燃烧过程的早期,即当活塞接近上止点并且达到最高温度时。混合气中氧气局部浓度越大,燃烧温度越高,燃烧反应时间越长,NO<sub>x</sub> 产生的数量越多。柴油发动机中的 NO<sub>x</sub> 首先是 NO,它是在高温下靠近火焰前锋出现过剩的氧气时形成的。大部分的 NO<sub>x</sub> 是在燃烧过程的早期活塞仍在止点时形成的。

NO 在排入大气时与氧作用,会转变成 NO<sub>2</sub>。NO 的毒性比 NO<sub>2</sub> 小,经动物试验,其毒性仅为 NO<sub>2</sub> 的 1/5。NO 是无色、无刺激、不活泼的气体,只有在高浓度情况下吸收较多的 NO,才会造成人中枢神经系统的障碍。NO<sub>2</sub> 是一种赤褐色带刺激性的气体,NO<sub>2</sub> 被人体吸收后会变为硝酸,硝酸与血红蛋白结合变成变性血红蛋白,因而降低了血液的输氧能力,这对心、肝、肾等都有不良影响。在 NO<sub>2</sub> 体积含量为  $5 \times 10^{-6}$  时便可被人所感知,在  $(10 \sim 20) \times 10^{-6}$  时有强烈的刺鼻味,在  $(50 \sim 300) \times 10^{-6}$  时,会使人头痛出汗,在大于  $500 \times 10^{-6}$  时,几分钟内就会使人出现肺浮肿而死亡。

### 4. 微粒物质

柴油机的微粒物质一般包括三种成分:燃烧过程中形成的烟灰、凝结或吸附在烟灰上的重烃和颗粒状硫。微粒物质的大部分由吸附或凝结在烟灰上的重烃组成,这称为微粒物质的可溶有机成分,由润滑油、未燃烧的燃料和燃烧时形成的化合物所产生。从柴油发动机排放出来的微粒的可溶有机成分和气态烃包括很多致癌物质和其他有毒的空气污染物质。内燃机排出的烟有白烟、蓝烟和黑烟。白烟和蓝烟主要是液相颗粒,由高沸点的未燃烃和水组成。黑烟主要是由碳烟粒子形成。

微粒的危害性与微粒粒径大小及其组成有关,粒径小的危害性大,小于  $5 \sim 10 \mu\text{m}$  的微粒,会深入呼吸道及肺叶组织,并在其中沉淀,不宜排出,引起肺组织等病变。另外,微粒粒径愈小,比表面积愈大,愈容易吸附有毒的物质。

### 三、汽车排放污染物的测试方法

目前,较具代表性的两种测试规范是怠速法和工况法,而且先进国家已经开始由怠态测试向瞬态测试过程过渡。

#### 1. 汽车排放污染物测试中的怠速法

怠速法是只对汽车在怠速运转时的排放污染物进行测试的一种方法。这种方法不需要复杂的设备,简单易行,在任何场合只要具备废气分析仪器即可完成。汽车怠速排放测试规范,一般均针对怠速工况下的 HC 和 CO 排放,其使用的仪器多为红外线 CO/HC 分析仪,并采用直接取样法。

#### 2. 汽车排放污染物测试中的工况法

工况法是在底盘测功机(转鼓实验台)上模拟汽车实际运行条件并对其排气进行取样和检测的一种方法。工况法的运行工况及时间的确定,都是按照汽车在典型道路上的实际运行情况而制定的,按这种方法检测到的汽车污染物排放数值具有较好的代表性。

#### 3. 柴油机汽车排气烟度测试方法

柴油机测试工况有稳态和非稳态两种,测试仪器种类很多。操作方法与测试工况和测试仪器有关。

稳态烟度测量是在柴油机某工况下(通常为全负荷工况,因该工况排气烟度较高),对其排气烟度进行测试。这种测试方法较适合在发动机试验台上进行,在汽车行驶时难于测定,并且由于汽车行驶加速工况排气烟度很高,因此稳态排气烟度测值并不能反映柴油机全部排烟特性。

非稳态烟度测量是按一定程度来实施的,常用形式是自由加速和控制加速法。自由加速测量法是在柴油机怠速工况下突然加速至最高转速且油门全开的过程中检测烟度的一种方法。控制加速测量法是模拟柴油车实际运行状态而对其排气烟度进行测试的一种方法,这种方法比自由加速法更接近实际情况。

#### 4. 柴油机微粒排放测试法

柴油机排放微粒是柴油机排放法规限制的主要有害物之一,近年来,微粒排放受到高度重视。目前,较为通用的微粒测试方法是稀释取样真空加热法和萃取法。取样测试采用真空加热方法,让试样在一定的温度和真空度的干燥箱内持续一定时间,有机的可溶组分蒸发后被真空抽走,不可溶组分剩在滤纸上,即可测量微粒的可溶组分和不可溶组分的量,从而实现排气微粒的测量。

### 四、汽车排放物的净化措施

根据排放物污染产生的原因分析,解决排放物污染的途径有两个:

(1)研制无污染低污染的汽车动力源,例如电动机汽车、太阳能汽车、采用氢气、液化石油气和天然气为燃料的汽车发动机,以新型汽车燃料逐步代替汽车和柴油燃料。

(2)通过改善汽、柴油发动机的工作结构和增设附加装置来抑制发动机排放物对大气的污染。

从净化效果看,采用新型燃料是降低汽车尾气污染的最佳途径。其中的天然气汽车和液化石油气汽车从使用条件和技术条件两方面看,推广应用最为有利。