


# LNG

# 载货汽车

## 设计、使用与维修

何太平 © 主编

 LNG载货汽车全接触

 一图一注意一看就明白

 设计使用维修一本就够



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



014057544

U469.2  
09

# LNG 载货汽车设计、使用与维修

何太平 主编



机械工业出版社



北航

C1745980

U469.2  
09

LNG 作为燃烧介质在汽车上的应用越来越普遍,而怎样正确使用、维修、保养 LNG 载货汽车是当前汽车行业较为关注的问题,会直接影响到汽车基本性能的发挥和使用寿命。

本书从理论上对 LNG 在重型载货汽车上的应用作了详细的介绍,对 LNG 发动机的结构进行了详尽的剖析,着重介绍了 LNG 气瓶及其附件与整车的匹配设计,对 LNG 气瓶及其附件的功能、作用也进行了描述,同时结合实践经验对 LNG 载货汽车的使用、保养、维修进行了详尽的介绍。而和柴油载货汽车通用的部分则舍去不作介绍。

本书内容丰富、实践参考性强,可作为 LNG 载货汽车工程技术人员和 LNG 载货汽车维修服务人员的参考用书,也可作为相关院校学习培训参考用书。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

LNG 载货汽车设计、使用与维修/何太平主编. —北京:机械工业出版社, 2014. 6

ISBN 978-7-111-46837-0

I. ①L… II. ①何… III. ①液化天然气-载重汽车-总体设计②液化天然气-载重汽车-使用③液化天然气-载重汽车-车辆修理 IV. ①U469. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 112639 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:连景岩 责任编辑:连景岩 丁 锋 版式设计:常天培

责任校对:张 薇 封面设计:张 静 责任印制:乔 宇

保定市中画美凯印刷有限公司印刷

2014 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 17 印张 · 1 插页 · 410 千字

0001—3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-46837-0

定价:49.90 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010) 68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

# 序



随着社会的发展，人们对能源的需求在不断增长，而世界能源却是有限的，从而造成能源越来越匮乏。近年来，国家先后出台了一系列新能源及环保政策，旨在推动国内包括汽车在内的各行业，进一步采用新能源技术。而 LNG 技术在汽车上的应用，正好适应了国家节能减排的需要，LNG 技术在汽车领域的应用的前景十分广阔。

目前，我国已经形成批量生产 LNG 载货汽车的能力。由于整车燃气耗低、动力性好、可靠性优，不仅在国内获得用户的好评，而且还批量出口东南亚各国，显著提高了用户在汽车运输中的经济效益，同时也创造了良好的社会效应，为推动我国节能减排做出了贡献。

本书作者参与 LNG 商用汽车的设计多年，熟悉 LNG 商用汽车的试验、生产和用户服务的整个工作过程，对 LNG 技术在汽车上的应用有较深的了解，经过长期的知识积累，行业内广泛的技术交流、信息收集和总结特编著此书。

本书源于研发设计，注重实践与应用相结合，经过服务与用户验证，是 LNG 技术理论与实践相结合的汇集。相信本书的出版，无论对 LNG 载货汽车的设计、用户在工作中的使用，还是在维护修理工作中，都具有较高的参考意义，是一本十分难得的工书。本书也可作为 LNG 商用汽车专业知识培训教材。

何智羽

2013 年 12 月



# 前 言



我国对环境保护的要求越来越高，今后一段时间内，我国将在全国范围内实施欧IV、欧V排放标准。由于LNG在燃烧中产生的有害排放物较低，LNG技术在汽车领域的应用越来越广泛，国内汽车厂纷纷采用LNG作为汽车的燃烧介质，从一汽、二汽、上汽、中国重汽、陕汽和福田等国内知名汽车企业，到各地汽车制造公司，无论是客车还是货车，均已经采用LNG技术批量生产装车，给用户带来了很高的经济效益，为社会的环境保护、能源的节约做出了贡献。

由于显著的社会效益和经济效益，在今后相当长一段时期内，LNG商用汽车产量将呈现出一个较大的增长势头。LNG技术在汽车上的应用时间还不长，尚处于起步阶段，因此无论是在产品设计研发上，还是在用户使用以及服务人员维修工作中，都急需学习、了解、掌握LNG专业技术知识。

作者长期从事LNG商用汽车产品的研发设计工作，并参与LNG重型载货汽车的试制、试验，曾与国内多家LNG气瓶生产厂、发动机生产厂，进行过不同型号的LNG商用汽车、不同型号的LNG发动机、不同规格的LNG气瓶匹配、研发工作，在工作、学习中积累了一些知识、经验，希望通过本书的出版能够与业界朋友们交流，共同推动我国LNG商用汽车的发展。

因为LNG重型载货汽车与重型柴油载货汽车通用的基本结构已为人们所熟悉了解，为节省篇幅，本书只针对其不同的基本构造、工作原理、维修保养知识进行详细的介绍。读者在阅读本书时，对于通用基本结构，可参考相关的汽车专业书籍，在此希望读者予以见谅。

由于作者的水平有限，书中尚有很多错误和不当之处，敬请广大读者提出宝贵意见和批评，并期望通过交流不断地充实自己，共同提高LNG汽车的专业知识。

参加本书编写的还有任强、何智羽、何志明、何霞、唐超等。在编写过程中，还得到了金华青年汽车制造有限公司很多同事的支持，在此特向他们表示衷心的感谢。

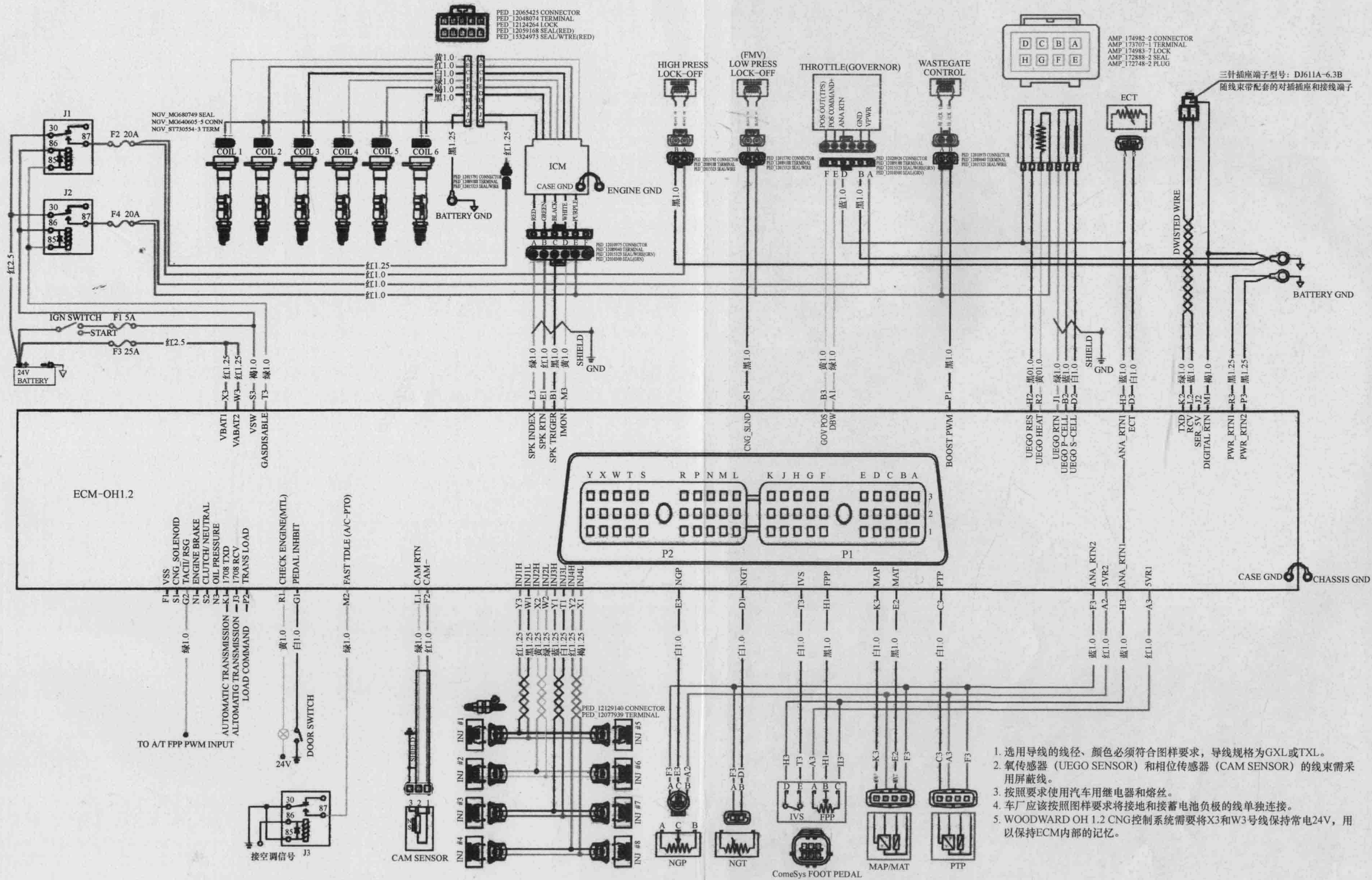


图 3-61 电控原理示意



# 目 录



## 序 前言

## 上篇 LNG 载货汽车、发动机的结构及基本特性

### 第一章 LNG 载货汽车、发动机的

#### 特性 ..... 2

#### 第一节 LNG 载货汽车的基本特性 ..... 2

##### 一、LNG 载货汽车的特性 ..... 2

##### 二、LNG 载货汽车供气系统的特性 ..... 3

#### 第二节 LNG 发动机的基本特性 ..... 6

##### 一、LNG 发动机的动力特性 ..... 6

##### 二、LNG 发动机的经济性能指标 ..... 9

#### 第三节 LNG 发动机的燃烧介质 ..... 11

##### 一、LNG 的汽化 ..... 11

##### 二、LNG 发动机的进气压力控制 ..... 11

#### 第四节 气态天然气的混合与控制 ..... 14

##### 一、LNG 发动机燃料的混合 ..... 14

##### 二、LNG 发动机混合燃料的控制 ..... 15

##### 三、LNG 发动机的点火 ..... 16

#### 第五节 LNG 发动机的燃烧和有害物的

#### 排放 ..... 16

##### 一、LNG 发动机的燃烧 ..... 16

##### 二、LNG 发动机燃烧有害物的排放 ..... 17

### 第二章 LNG 的基本特性 ..... 19

#### 第一节 LNG ..... 19

##### 一、LNG 的特性 ..... 19

##### 二、LNG 的蒸发 ..... 20

##### 三、LNG 的泄漏和溢出 ..... 20

##### 四、LNG 的其他物理现象 ..... 21

#### 第二节 LNG 的储存、控制与调节 ..... 21

##### 一、LNG 的储存 ..... 21

##### 二、LNG 气瓶的检测、试验 ..... 24

##### 三、LNG 的进液与控制 ..... 25

#### 第三节 LNG 载货汽车的安全与控制 ..... 29

##### 一、气瓶工作压力限定 ..... 30

##### 二、气瓶防爆堵塞设置 ..... 30

##### 三、流量控制与限制 ..... 30

#### 第四节 供气系统的压力调节和显示 ..... 31

##### 一、供气系统压力调节 ..... 31

##### 二、压力显示 ..... 31

#### 第五节 LNG 液位储量显示系统 ..... 32

##### 一、电容电极（传感器） ..... 33

##### 二、电容变送器 ..... 33

##### 三、液位显示器 ..... 34

#### 第六节 LNG 载货汽车燃气的形成 ..... 35

##### 一、滤清后的洁净空气 ..... 35

##### 二、气态天然气的形成 ..... 36

##### 三、气态天然气与空气的混合及控制 ..... 37

#### 第七节 LNG 管道 ..... 38

##### 一、LNG 管道常用材料 ..... 38

##### 二、LNG 管道成形要求 ..... 39

##### 三、LNG 管道安装要求 ..... 40

### 第三章 LNG 载货汽车发动机的工作

#### 原理及构造 ..... 41

#### 第一节 直列、水冷、六缸、四冲程 LNG

#### 发动机 ..... 41

##### 一、LNG 发动机主要特性概述 ..... 41

##### 二、LNG 发动机的工作原理 ..... 42

##### 三、LNG 发动机的特点 ..... 46

#### 第二节 曲柄连杆机构 ..... 46

##### 一、气缸体总成 ..... 47

##### 二、活塞连杆组 ..... 52







|                              |           |                          |            |
|------------------------------|-----------|--------------------------|------------|
| 三、曲轴飞轮组 .....                | 57        | 一、废气旁通控制阀 .....          | 92         |
| 第三节 配气机构 .....               | 58        | 二、防喘振阀 .....             | 92         |
| 一、配气机构的功能 .....              | 58        | 第四节 传感器 .....            | 93         |
| 二、凸轮轴总成 .....                | 59        | 一、氧传感器 .....             | 93         |
| 三、齿轮传动系统 .....               | 60        | 二、大气环境传感器 .....          | 93         |
| 四、配气相位 .....                 | 60        | 三、节气门后进气压力/温度传感器 .....   | 94         |
| 第四节 燃气供给系统 .....             | 62        | 四、凸轮轴位置传感器 .....         | 94         |
| 一、LNG 发动机燃料的形成、流向 .....      | 62        | 五、冷却液温度传感器 .....         | 94         |
| 二、LNG 发动机供气系统的构成 .....       | 63        | 六、天然气温度传感器 .....         | 95         |
| 第五节 润滑系统 .....               | 64        | 七、电子加速踏板 .....           | 95         |
| 一、润滑系统的形式 .....              | 64        | 第五节 电子控制模块 .....         | 96         |
| 二、润滑系统的作用 .....              | 65        | <b>第五章 LNG 载货汽车动力特性、</b> |            |
| 三、润滑系统的构成 .....              | 66        | <b>主要部件使用要求 .....</b>    | <b>97</b>  |
| 四、润滑系统机油的流向 .....            | 66        | 第一节 LNG 载货汽车动力系统特性及      |            |
| 五、曲轴箱通风 .....                | 66        | 使用要求 .....               | 97         |
| 第六节 进排气系统 .....              | 67        | 一、LNG 载货汽车动力系统的特性 .....  | 97         |
| 一、进气系统 .....                 | 68        | 二、使用要求 .....             | 98         |
| 二、排气系统 .....                 | 73        | 第二节 供气系统主要部件作用 .....     | 99         |
| 第七节 冷却系统 .....               | 80        | 一、储液气瓶 .....             | 99         |
| 一、冷却系统的作用 .....              | 80        | 二、汽化器 .....              | 100        |
| 二、LNG 发动机冷却液的循环 .....        | 81        | 三、缓冲罐 .....              | 100        |
| 三、LNG 发动机冷却液的调节 .....        | 81        | 四、稳压器 .....              | 100        |
| 四、电磁离合器风扇 .....              | 82        | 五、低压燃气滤清器 .....          | 100        |
| 五、正确使用、保养冷却系统 .....          | 84        | 六、低压电磁阀 .....            | 100        |
| 第八节 电气系统 .....               | 85        | 七、电控调压器 (EPR 阀) .....    | 101        |
| 一、电气系统的构成 .....              | 85        | 八、混合器 .....              | 101        |
| 二、发动机的起动与补充电源 .....          | 86        | 九、电子节气门 .....            | 101        |
| 三、LNG 载货汽车电气控制系统 .....       | 86        | 十、燃气计量阀 .....            | 101        |
| <b>第四章 LNG 发动机供气系统的构成 ..</b> | <b>88</b> | <b>第六章 LNG 载货汽车供气系统的</b> |            |
| 第一节 燃料供给系统 .....             | 88        | <b>结构形式 .....</b>        | <b>104</b> |
| 一、汽车燃料供给系统 .....             | 88        | 第一节 管路的安装、布置 .....       | 106        |
| 二、发动机燃料供给系统 .....            | 89        | 第二节 单后置气瓶 .....          | 107        |
| 第二节 点火系统 .....               | 91        | 第三节 双后置气瓶 .....          | 108        |
| 一、点火线圈 .....                 | 91        | 第四节 单侧置气瓶 .....          | 109        |
| 二、火花塞 .....                  | 91        | 第五节 双侧置气瓶 .....          | 112        |
| 第三节 进气压力控制系统 .....           | 92        |                          |            |

## 下篇 LNG 载货汽车使用、保养及故障维修方法

### 第七章 LNG 载货汽车行车检查及

#### 维护保养 .....

##### 第一节 LNG 载货汽车行驶前检查 .....

###### 一、基本常规检查 .....

###### 二、LNG 载货汽车的运行 .....

###### 三、LNG 供气系统检查 .....

##### 第二节 LNG 载货汽车起动 .....

###### 一、起动前操作规范 .....





|                           |     |                         |     |
|---------------------------|-----|-------------------------|-----|
| 二、常温起动 .....              | 118 | 原因 .....                | 139 |
| 三、低温起动 .....              | 119 | 二、LNG 载货汽车动力不足的原因 ..... | 142 |
| 第三节 LNG 载货汽车行车中检查 .....   | 119 | 三、发动机供气量不足的原因 .....     | 150 |
| 一、注意事项 .....              | 119 | 第二节 LNG 载货汽车供气压力故障的     |     |
| 二、发动机的磨合 .....            | 120 | 判别处理 .....              | 152 |
| 三、电气控制系统的注意事项 .....       | 120 | 一、供气压力较低 .....          | 152 |
| 第四节 LNG 载货汽车停车 .....      | 120 | 二、供气系统压力增高的原因 .....     | 154 |
| 一、临时停车 .....              | 120 | 三、气瓶排空气体释放的原因 .....     | 157 |
| 二、夜间停车 .....              | 120 | 四、供气系统压力的调节方法 .....     | 159 |
| 三、特殊气候条件下的停车 .....        | 121 | 五、耗气量过高故障的判别处理 .....    | 161 |
| 第五节 LNG 载货汽车的维护保养 .....   | 121 | 第三节 LNG 气瓶真空度失效故障的判别    |     |
| 一、日常维护保养 .....            | 121 | 处理 .....                | 163 |
| 二、一级维护保养 .....            | 122 | 第四节 LNG 载货汽车安全系统故障的     |     |
| 三、二级维护保养 .....            | 123 | 判别处理 .....              | 165 |
| 第六节 涡轮增压器的保养 .....        | 125 | 一、压力表失效（显示压力过高或过低）      |     |
| 一、采用高品质机油 .....           | 126 | 故障的判别 .....             | 165 |
| 二、注意保持涡轮的清洁 .....         | 126 | 二、LNG 载货汽车安全性保证（气瓶      |     |
| 三、发动机起动后须怠速运行 .....       | 126 | 安全阀失效的判别） .....         | 166 |
| 四、发动机停车前须逐渐降低转速 .....     | 126 | 三、LNG 燃烧、爆炸基本条件 .....   | 167 |
| 五、定期检查很关键 .....           | 127 | 第五节 LNG 载货汽车涡轮增压器故障的    |     |
| 第七节 LNG 载货汽车供气系统保养 .....  | 127 | 判别处理 .....              | 170 |
| <b>第八章 LNG 载货汽车故障检查、</b>  |     | 一、涡轮增压器常见故障的模式 .....    | 170 |
| <b>分析及诊断方法 .....</b>      | 129 | 二、涡轮增压器常见故障产生原因 .....   | 171 |
| 第一节 LNG 载货汽车常见故障的检查、      |     | 三、涡轮增压器常见故障的分析、         |     |
| 判别 .....                  | 130 | 判别处理 .....              | 173 |
| 一、检查故障 .....              | 130 | 四、判断处理涡轮增压器故障要点 .....   | 174 |
| 二、分析诊断故障 .....            | 131 | 第六节 LNG 载货汽车漏气故障的判别     |     |
| 第二节 LNG 载货汽车常见故障的分析 ..... | 136 | 处理 .....                | 175 |
| 一、从 LNG 载货汽车工作原理分析        |     | 一、泄漏的类别 .....           | 176 |
| 故障 .....                  | 136 | 二、漏气故障现象 .....          | 176 |
| 二、从 LNG 载货汽车运行现象分析        |     | 三、漏气故障分析判断 .....        | 177 |
| 故障 .....                  | 136 | 四、产生漏气故障原因及检查排除         |     |
| 三、维护注意事项 .....            | 137 | 故障 .....                | 177 |
| 第三节 LNG 载货汽车故障处理方法 .....  | 137 | 五、漏气检查方法 .....          | 178 |
| 一、汽车故障诊断的基本方法 .....       | 137 | 六、漏气的处理 .....           | 178 |
| 二、汽车故障诊断的四项基本原则 .....     | 137 | 七、管路泄漏常见故障及处理 .....     | 179 |
| 三、汽车故障诊断的流程 .....         | 137 | 第七节 LNG 载货汽车一般故障的判别     |     |
| <b>第九章 LNG 载货汽车常见故障及</b>  |     | 处理 .....                | 179 |
| <b>维修方法 .....</b>         | 139 | 一、液位显示器、变送器的故障 .....    | 180 |
| 第一节 LNG 载货汽车无法正常起动、       |     | 二、主要阀门的故障 .....         | 182 |
| 行驶故障的判别处理 .....           | 139 | 三、LNG 载货汽车散热不足的故障 ..... | 185 |
| 一、LNG 载货汽车无法正常起动的         |     | 四、加不进液化气 .....          | 187 |
|                           |     | 五、出气放空阀故障 .....         | 189 |



|                          |     |                           |     |
|--------------------------|-----|---------------------------|-----|
| 第八节 天然气温度高造成动力性下降的原因     | 190 | 一、充加气前检查                  | 231 |
| 原因                       | 190 | 二、热瓶预冷(加气)                | 232 |
| 一、LNG 工作温度要求             | 190 | 第二节 怎样常规充加 LNG            | 232 |
| 二、工作温度高故障处理              | 190 | 第三节 LNG 载货汽车怎样在行驶途中应      |     |
| 第九节 LNG 载货汽车冷却系统故障的      |     | 急补充加气                     | 233 |
| 判别处理                     | 191 | 一、加气原理                    | 233 |
| 一、LNG 载货汽车冷却液温度过高        |     | 二、LNG 载货汽车缺 LNG 表现形式      | 233 |
| 故障的判别处理方法                | 192 | 三、LNG 载货汽车缺 LNG 原因        | 234 |
| 二、LNG 载货汽车冷却液温度过低        |     | 四、LNG 载货汽车补充 LNG (补充      |     |
| 故障的判别处理方法                | 197 | 加气)                       | 234 |
| 三、怎样正确使用、更换防冻液           | 198 | 五、LNG 载货汽车补充 LNG 流程       | 234 |
| 四、LNG 载货汽车冷却系统大循环        |     | 第四节 续驶里程的确定               | 237 |
| 打不开故障的判别处理方法             | 201 | 一、百公里耗气量运行试验              | 237 |
| 五、LNG 载货汽车冷却液温度调节        |     | 二、百公里耗气量的测定               | 238 |
| 故障的判别处理方法                | 202 | 第五节 经济性评定                 | 238 |
| 六、LNG 载货汽车散热性能配置要求       | 205 | 一、基本配置                    | 238 |
| 第十节 LNG 载货汽车出现异响故障的      |     | 二、经济数据评定                  | 238 |
| 判别处理                     | 207 | <b>第十一章 LNG 载货汽车停用、存放</b> |     |
| 第十一节 LNG 载货汽车早期磨损故障的     |     | 及维修时的安全性                  | 240 |
| 判别处理                     | 212 | 第一节 LNG 载货汽车停用、存放         | 240 |
| 一、发动机早期磨损                | 213 | 一、存放的条件                   | 240 |
| 二、发动机冷却液温度低              | 214 | 二、存放保管                    | 240 |
| 三、出现早期磨损后的表现特征           | 215 | 第二节 维修操作前的必备安全条件          | 241 |
| 第十二节 LNG 载货汽车机油压力过低      |     | 第三节 维修前的安全要求              | 241 |
| 故障的判别处理                  | 215 | 第四节 维修中的安全条件              | 242 |
| 第十三节 LNG 载货汽车机油消耗严重      |     | <b>第十二章 LNG 载货汽车故障码显示</b> |     |
| 故障的判别处理                  | 219 | 与诊断                       | 243 |
| 一、机油消耗严重故障表现形式           | 219 | 一、故障判断步骤和技巧               | 243 |
| 二、故障分析判断                 | 219 | 二、用故障诊断仪判别、处理故障           | 243 |
| 三、产生故障原因及检查排除故障          | 220 | <b>第十三章 LNG 载货汽车供气部件校</b> |     |
| 四、LNG 发动机不能选用汽油发动机、      |     | 检及主要零部件间隙调整               | 257 |
| 柴油发动机机油                  | 222 | 第一节 供气系统部件定期校检            | 257 |
| 第十四节 LNG 载货汽车膨胀水箱“翻水”    |     | 第二节 主要零部件间隙调整             | 257 |
| 故障的判别处理                  | 222 | 一、气门间隙调整                  | 258 |
| 第十五节 LNG 载货汽车冒“蓝烟”、      |     | 二、曲轴轴向间隙调整                | 258 |
| “白烟”故障的判别处理              | 227 | 三、压缩余隙检查                  | 259 |
| 一、冒“蓝烟”                  | 227 | 四、活塞环开口间隙、侧隙、背隙           |     |
| 二、冒“白烟”                  | 229 | 检查                        | 260 |
| <b>第十章 怎样充加 LNG、确定续驶</b> |     | 五、离合器踏板自由行程的调整            | 260 |
| 里程及进行经济性评定               | 231 | <b>附录 符号及功能说明</b>         | 262 |
| 第一节 怎样初次充加 LNG           | 231 |                           |     |





上篇

# LNG 载货汽车、发动机的结构及基本特性





# 第一章

## LNG 载货汽车、发动机的特性



载货汽车一般都采用柴油发动机或者液化天然气（LNG）发动机，而不会采用汽油发动机。这是因为载货汽车对动力性的要求，而 LNG 载货汽车与柴油载货汽车的不同点，在于燃烧介质不同，本章主要介绍 LNG 载货汽车的特点及工作原理。

### 第一节 LNG 载货汽车的基本特性

#### 一、LNG 载货汽车的特性

柴油载货汽车燃烧的介质为柴油，LNG 载货汽车燃烧的介质是 LNG 气体，其发动机都属于内燃机，都是将燃料燃烧时产生的热能通过活塞、连杆的往复运动转变为曲轴的旋转运动，再通过发动机飞轮输出转矩。

由于燃烧介质不同，LNG 发动机取消了柴油发动机特有的高压共轨、喷油泵、喷油器、输油泵、燃油箱及燃油管路等系统。

LNG 发动机的供气系统由燃气低压过滤器、稳压器、低压电磁阀及低压管路、电控调压器（EPR 阀）、环境传感器、氧传感器、防喘振阀、三元催化转化器、空气调压器以及电控废气旁通控制阀等零部件组成。

柴油发动机与 LNG 发动机燃烧介质不同，所以，两种发动机的电控系统也不相同。

LNG 气体燃烧时，产生的有害排放物非常低，而动力性能指标却能满足载货汽车的要求，同时所耗燃料费用又比柴油载货汽车节约 30% ~ 50%。另外，LNG 气体的燃点比汽油、柴油、压缩天然气（CNG）高很多，其自燃性、爆炸的可能性比汽油、柴油、CNG 都更低，更具有安全性。因此 LNG 在载货汽车上得到了广泛应用。

随着国 IV、国 V 汽车环保政策的推出，由于柴油载货汽车所装用的柴油发动机的三元催化后处理装置结构复杂、制造成本高昂，会造成柴油载货汽车价格大幅增加，同时，由于国 IV、国 V 对柴油品质的要求更高，这也会造成柴油载货汽车的运营成本大幅增加。

柴油载货汽车发动机燃烧中有害排放物的控制，比 LNG 载货汽车发动机控制难得多；在发动机的燃烧过程中，LNG 发动机燃烧中产生的排放有害物远比柴油发动机低。表 1-1 是国 III LNG 汽车与国 III 柴油汽车排放物的比较。

表 1-1 国 III LNG 汽车与国 III 柴油汽车排放物的比较

| 污染物               | CO  | HC  | NO <sub>x</sub> | CO <sub>2</sub> | SO <sub>2</sub> | C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> | 噪声  |
|-------------------|-----|-----|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------------------|-----|
| LNG 载货汽车比柴油载货汽车减少 | 93% | 73% | 39%             | 24%             | 80              | 100%                          | 40% |



由于 LNG 汽车具有优异的排放性能，因此，LNG 汽车尾气排放采用三元催化装置就能很容易达到欧 IV 排放标准要求，而在欧 IV 三元催化装置基础上稍加改造，就能达到欧 V 排放标准要求。此过程不需要另外增加发动机 SCR 系统、废气再循环装置，也不需要提高燃烧介质的要求。

由于上述特性，载货汽车采用 LNG 作为燃烧介质的应用前景非常好，目前，国内载货汽车已经批量装用 LNG 发动机，并且大批量出口。

## 二、LNG 载货汽车供气系统的特性

根据不同的续驶里程，不同的 LNG 载货汽车所配气瓶数量、气瓶规格大小也不相同，有单后置式气瓶、单侧置式气瓶、双后置式气瓶和双左右侧置式气瓶等多种形式。图 1-1 所示是 LNG 重型载货汽车的外形。



图 1-1 LNG 重型载货汽车外形

LNG 载货汽车燃气系统由整车气瓶供气系统、发动机供气系统两大部分组成，两大供气系统共同实现 LNG 发动机燃烧所需的燃气供给、控制要求。LNG 载货汽车燃气系统（单气瓶）如图 1-2 所示。

### 1. 气瓶供气系统的主要功能

将 LNG 转化成气态天然气，需要整车压力控制系统、整车安全控制系统、气瓶减压装置、整车增压系统和整车瞬时超负荷压力补偿系统等装置。

天然气气瓶主要由以下部件构成：液化气储存及进出气部件 [气瓶总成、加液部件、出液部件、变送器（液位显示表）及进、出液管路]、气瓶减压系统（放空阀、经济调压控制阀）、安全控制系统（一级安全阀、二级安全阀、压力表及管路）、液化气汽化系统（汽化器、管路）和自增压系统（自增压阀调节、自增压回气阀、管路）。

### 2. 发动机供气系统的主要功能

发动机供气系统的主要功能是恒定供气系统压力在一定范围；根据汽车不同行驶条件，适时开启电子节气门，控制最佳空燃比，以满足汽车行驶速度、负荷要求；同时，采集不同负荷情况下发动机进气系统，增压器系统，排气系统，中冷器进出气温度，环境工作温度、湿度等数据，以优化天然气供气量，始终保证发动机在最佳状况下工作。

天然气发动机主要由以下部件组成：燃料供给系统（低压电磁阀部件、电控调压器部件（EPR 控制阀）、混合器部件和电子节气门）、点火系统（高压点火线圈、电子火花塞）、增压压力控制系统（废气旁通控制阀、防喘振阀、空气调压器）、各种压力和温度传感器和电子控制模块（ECM）。

### 3. 发动机天然气燃料的流程

经液化后的气态天然气从气瓶供气系统流出后，进入减压器（EPR），在减压器内将压力调整至发动机供气系统规定值后，经进气软管进入混合器，与来自空气滤清器过滤后的洁净空气混合后，经发动机进气管进入电子节气门，再进入发动机燃烧室进行燃烧，如图 1-3 所示。

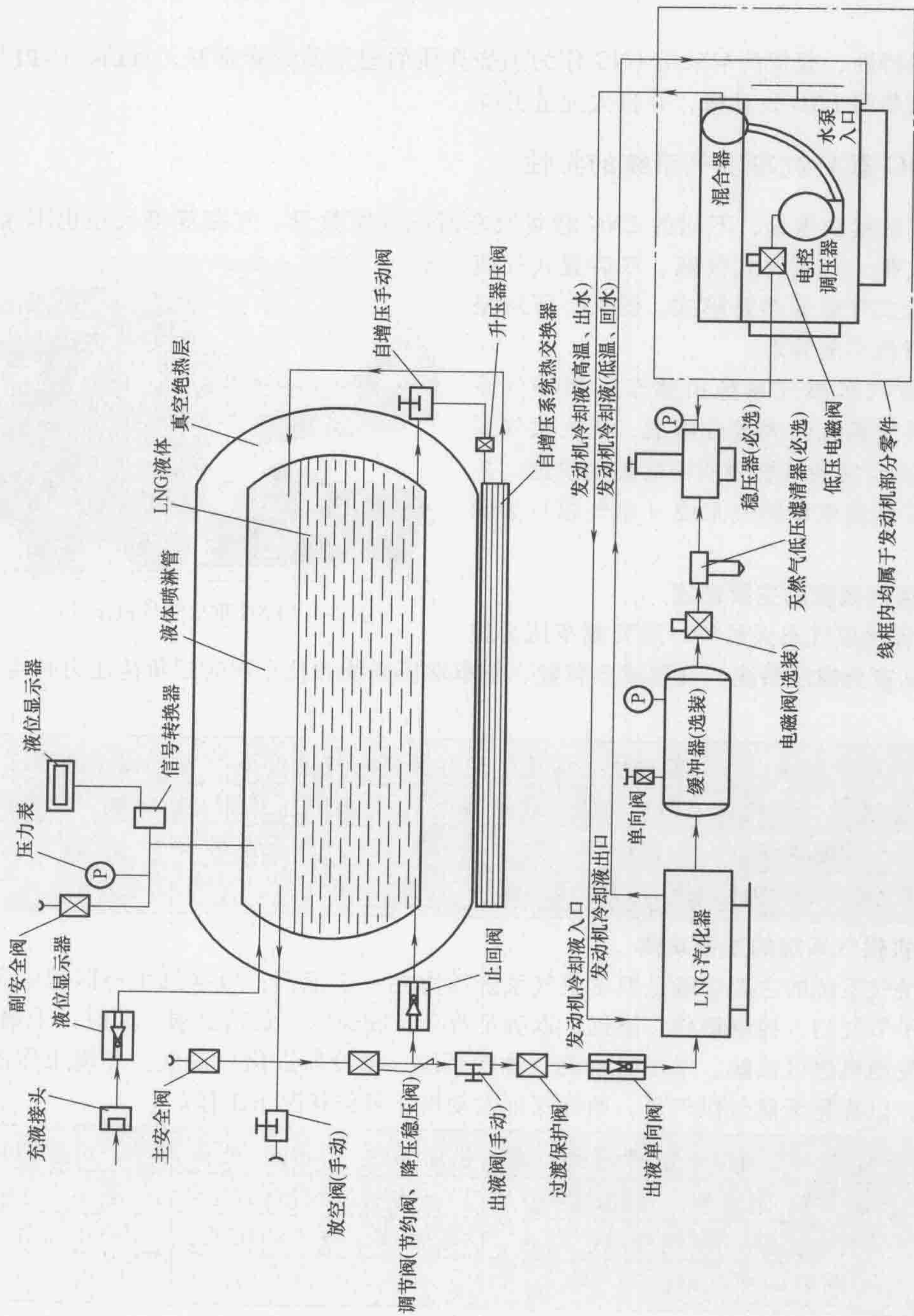


图 1-2 LNG 载货汽车燃气系统



LNG 汽车在起动之前，先打开气瓶出液阀，气瓶里的液化气在气瓶内压力的作用下，经出液阀及其管路，将 LNG 送到汽化器汽化成气态天然气。发动机气瓶设置不同，压力也不同。气瓶的压力用经济阀来控制：当气瓶内压力高于经济阀（Er）设定的压力时，经济阀（Er）开启，气瓶顶部气相空间的饱和蒸气通过经济阀（Er）进入供气管路，此时出液单向阀（DCV）基本处于关闭状态；当瓶内压力逐渐降低至经济阀（Er）的设定压力时，经济阀（Er）关闭，又回到液体供应状态。

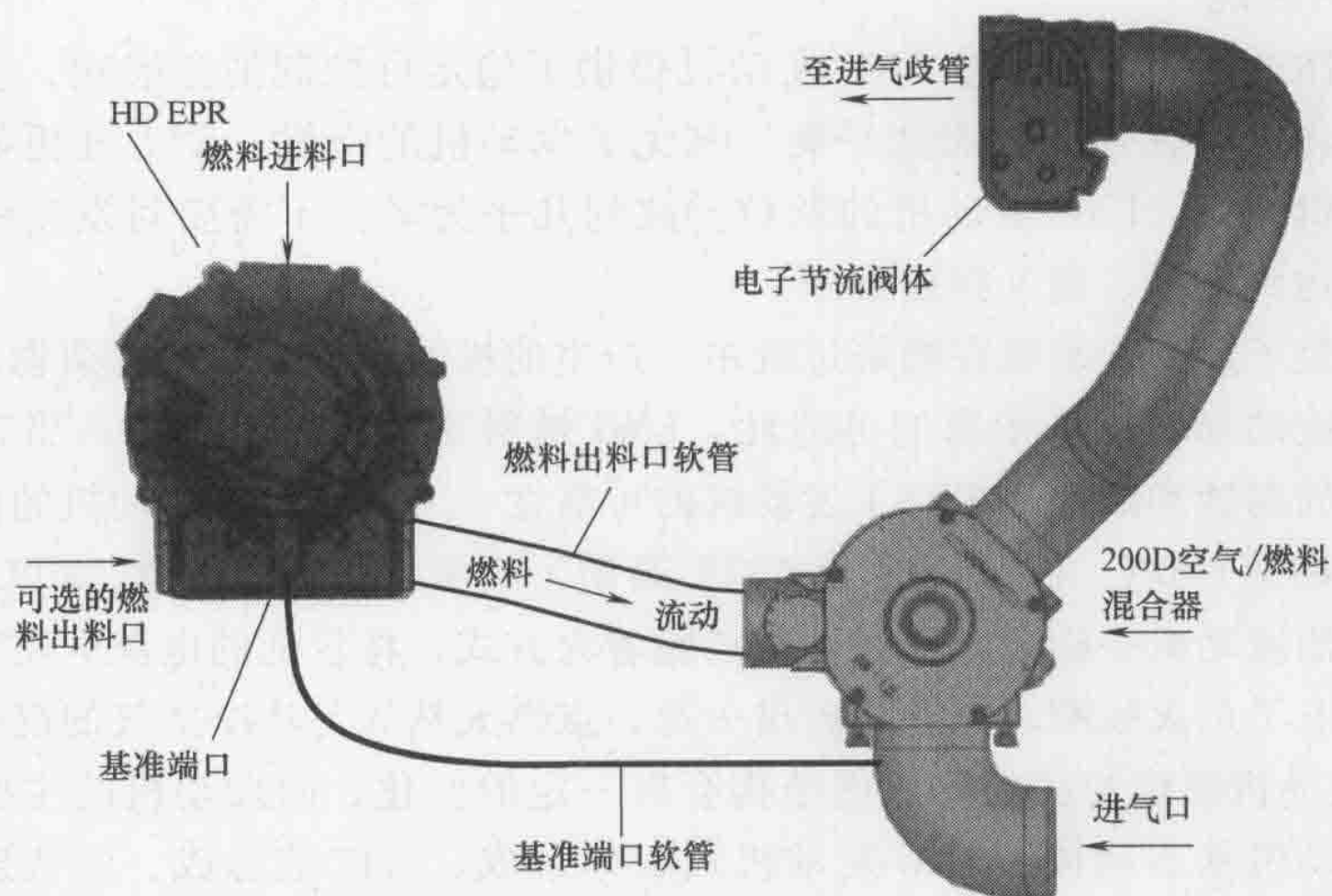


图 1-3 天然气发动机燃料的流程

#### 4. LNG 转化为气态天然气

LNG 储存温度为  $-162^{\circ}\text{C}$ ，当其温度上升至约  $-113^{\circ}\text{C}$ （对纯甲烷）或  $-82^{\circ}\text{C}$ （对甲烷蒸气）时，气体密度小于环境空气密度，形成蒸气和空气的混合物。当温度相差悬殊的两种液体接触时，LNG 会产生快速的相态转变，由液化气转变为气态天然气。

LNG 的储存温度与其储存瓶内的压力有关：当瓶内的压力为  $0.65 \sim 1.35\text{MPa}$  时，液化气的温度为  $-130 \sim -120^{\circ}\text{C}$ ；当瓶内的压力上升至  $1.75\text{MPa}$  时，液化气的温度会上升至  $-110^{\circ}\text{C}$  左右。

由于 LNG 在汽化器里通过汽车散热器的热水来加热，并汽化成气态天然气，将 LNG 在低温基础上提高至汽化加热温度的过程中，LNG 将转变为气态天然气，所以，汽化器的安装位置不能高于汽车散热器的顶部，否则会导致散热器的热水不能完全流经汽化器，造成汽化器结冰冻裂、液化气汽化不良现象。

正常情况下，气瓶的最小工作压力不能低于发动机供气系统要求的工作压力。中、轻型载货汽车发动机的工作压力范围为  $0.65 \sim 1.35\text{MPa}$ ，重型载货汽车的工作压力高于轻型载货汽车，要求为  $0.86 \sim 1.35\text{MPa}$ 。若重型载货汽车气瓶的工作压力小于  $0.86\text{MPa}$ ，会出现发动机供气不足，造成动力性下降，并且导致发动机三元催化器烧结等现象。

LNG 是将天然气经脱硫、脱水、脱重烃和脱酸性气体等一系列技术加工处理，并采用深冷处理技术，将天然气冷却到  $-162^{\circ}\text{C}$ ，在常压下为液态的一种天然气。在净化处理、深冷生产过程中，非烃类成分及一些非甲烷烃类成分通常都要被去掉，这样经净化处理、深冷







生产后的 LNG 燃料基本上都是纯度很高的烷烃，主要成分为  $\text{CH}_4$ （甲烷）和  $\text{C}_2\text{H}_6$ （乙烷），其成分比 CNG 的成分更纯净， $\text{CH}_4$ （甲烷）含量进一步提高，可以达到 96% 以上。

由于 LNG 脱除了硫和水分，其成分比 CNG 还要纯净，因而 LNG 汽车燃烧时产生的有害成分，比柴油载货汽车低很多，甚至比 CNG 汽车还要低。试验表明：与燃油汽车相比，LNG 汽车尾气中 CO（一氧化碳）减少 97%，HC（碳氢化合物）+  $\text{NO}_x$  减少 72%， $\text{CO}_2$ （二氧化碳）减少 90%，噪声减少 40%， $\text{C}_6\text{H}_6$ （苯）铅粉尘等减少 100%。

### 5. LNG 的燃烧

这样高纯净的燃料，不仅给 LNG 发动机提供了稳定可控制的空燃比，使发动机的工作性能得到了优化，而且发动机燃烧平衡，避免了发动机的爆燃，动力性更好。与柴油发动机、汽油发动机相比，LNG 发动机的颗粒排放物几乎为零，不需要对发动机尾气进行深处理，就很容易达到国 IV、国 V 排放要求。

同时，避免了燃油发动机在燃烧过程中，产生的机油和炭粒等有害杂物，同时还避免了发动机供油系统的损坏或者堵塞的可能性。LNG 燃料不产生积炭，无污染杂质，且减少了发动机零部件的腐蚀和磨损，提高了发动机的可靠性，大大延长了发动机的使用寿命。

LNG 燃点高达  $650^\circ\text{C}$ ，比汽油燃点  $427^\circ\text{C}$  高出了很多（柴油燃点为  $220^\circ\text{C}$ ），因此，LNG 发动机如同汽油发动机一样，也采用电子点燃着火方式，将较低的电源电压变换成高直流电压，通过高压电子点火线圈、火花塞放出火花，点燃天然气与洁净空气的混合气。

与 LNG 发动机燃烧相关的零部件结构会有一些的变化，而发动机的主要结构与柴油发动机、汽油发动机基本相同。LNG 发动机气缸体总成、气缸盖总成、曲柄连杆机构、配气机构、润滑系统、冷却系统和起动系统等机构与柴油发动机、汽油发动机完全相同，而燃料供给系统、点火系统则与柴油发动机、汽油发动机不同。

## 第二节 LNG 发动机的基本特性

### 一、LNG 发动机的动力特性

LNG 载货汽车采用直列、水冷、四冲程发动机，并加装水冷式涡轮增压器。LNG 发动机外形如图 1-4 所示。与柴油发动机相比，在重载上坡时柴油发动机的爆发能力强于 LNG 发动机，柴油发动机做功时产生的热效率高，因此，LNG 发动机的动力性稍差于柴油发动机；在平坦路面上行驶时，LNG 发动机动力性与柴油发动机差异不大。LNG 发动机动力性优于汽油发动机。

LNG 发动机配装载货汽车时，往往动力性表现比柴油载货汽车稍差，其主要原因如下：

- 1) 由于天然气的主要成分甲烷的火焰传播速度比柴油低，使 LNG 发动机总燃烧期增长，造成气缸内压力和温度上升缓慢，导致 LNG 发动机的爆发压力稍差。
- 2) 以天然气作为燃料，燃料本身的体积在整个进气中占有较大的比例，导致进入气缸的进气量减少，充气系数下降，与柴油发动机相比空燃比相应减小。
- 3) 天然气与空气形成的混合气热值比柴油与空气形成的混合气热值低 10.5%。



具体表现在：LNG 载货汽车与柴油载货汽车相比，在同一档位、同一载质量情况下，爬长坡时其动力略显不足，必须降一档上坡。但在平坦路面上行驶时，其动力与柴油载货汽车基本相当。

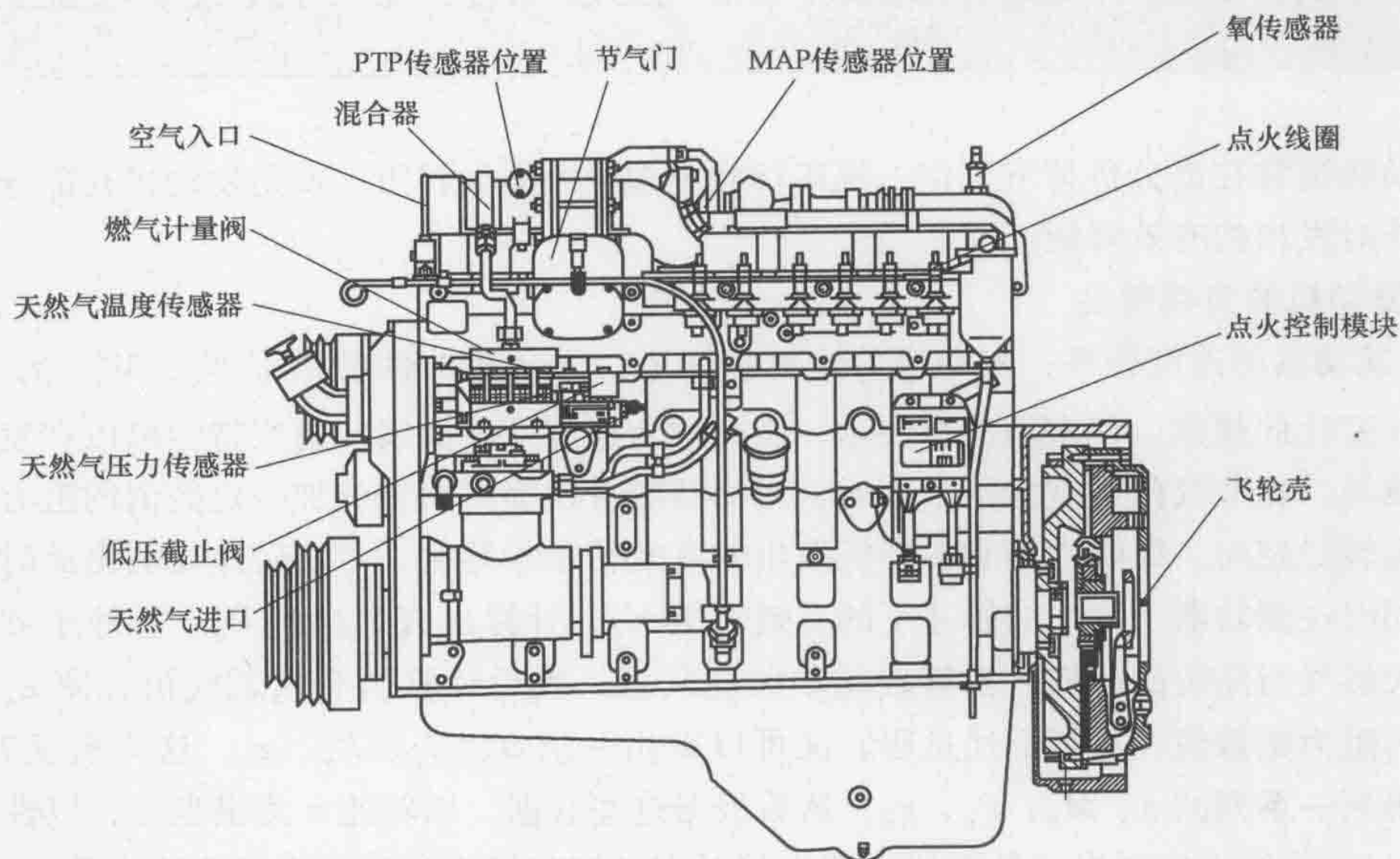


图 1-4 LNG 发动机外形

### 1. 发动机的动力性指标

1) 有效功率：指发动机通过曲轴或飞轮对外输出的功率，通常用  $P_e$  表示，单位为 kW。有效功率等于有效转矩和曲轴转速的乘积。发动机的有效功率可在专用的试验台上用测功器测定，测出有效转矩和曲轴转速，然后用下面公式计算出有效功率：

$$P_e = M_e n / 9545.45$$

式中， $M_e$  为有效转矩，单位为  $N \cdot m$ ； $n$  为曲轴转速，单位为  $r/min$ 。

发动机的有效功率往往是指发动机产品铭牌上标明的功率，称为额定功率，此时相应的曲轴转速也称为发动机的额定转速，或者称为发动机的最高转速。

2) 发动机的有效转矩  $M_e$ 。LNG 发动机、柴油发动机、汽油发动机表示方式均相同。发动机通过飞轮输出传递给变速器再传给汽车驱动桥的转矩，称为发动机的有效转矩。由于发动机在运行中，在不同的转速下会产生不同的转矩，所以衡量发动机的转矩时，往往以发动机的最大转矩来表征发动机输出动力的优劣，而发动机的最大转矩转速区域，往往是在汽车的经济车速区域内。

$$M_e = P_e \times 9545.45 / n$$

式中， $P_e$  为有效功率，单位为 kW； $n$  为曲轴转速，单位为  $r/min$ 。

LNG 发动机的输出转矩与发动机燃烧时的工作压力、LNG 供气系统的工作压力、混合气的混合质量密切相关。若 LNG 供气系统的压力较小，则会造成天然气供气不足，发动机燃烧时不能产生相应的有效转矩。

LNG 发动机混合气质量不好，也会造成发动机燃烧不充分，从而影响发动机有效转矩的大小，而混合气质量的好坏，又与发动机供气系统压力有直接的关系。发动机供气压力较小，