

第 1 章 绪论

汽车产业的发展始终伴随着石油消耗和大气环境污染的双重危机。汽车的迅速普及,在改善居民生活的同时也产生了诸如能源、环保等方面的问题。石油资源短缺与日益增长的汽车保有量之间的矛盾日益加剧。汽车尾气排放是造成环境污染和全球温室气体排放的主要来源之一,随着汽车排放相关法规的日益严格,传统汽车将无法 满足严格的环保要求,汽车工业转型已是大势所趋。

1.1 新能源汽车的定义与分类

1.1.1 新能源汽车的定义

新能源汽车的定义在中国有一个不断变化的过程,在此过程中,中国新能源汽车的定义和包括的车辆类型逐渐由模糊变得清晰,同时也越来越科学规范。

根据《新能源汽车生产企业及产品准入管理规则》的主要政策,在 2009 年中国出现了“新能源汽车”的概念,包括混合动力汽车、纯电动汽车(battery electric vehicle, BEV,包括太阳能汽车)、燃料电池电动汽车(fuel cell electric vehicle, FCEV)、氢发动机汽车、其他新能源(如高效储能器、二甲醚)汽车等多个类别产品。当时新能源汽车的主要特征是采用非常规的车用燃料作为动力来源(或使用常规的车用燃料、采用新型车载动力装置),综合车辆的动力控制和驱动方面的先进技术,形成的技术原理先进,具有新技术、新结构的汽车。

根据《节能与新能源汽车产业发展规划(2012—2020 年)》的主要政策,2012 年依然沿用“新能源汽车”名词,但分类仅包括插电式混合动力汽车、纯电动汽车和燃料电池汽车,其主要特征是采用新型动力系统,完全或主要依靠新型能源驱动的汽车。

1.1.2 新能源汽车的分类

就中国而言,新能源汽车是对“new energy vehicles”(NEV)的翻译,在中国当代语境下,新能源汽车的分类主要是指“纯电动汽车、混合动力汽车、燃料电池汽车”三种。美国对于“新能源汽车”的定义指的是“替代燃料汽车”(alternative fuel vehicle, AFV),这一定义与中国的相比更加宽泛。基于 1992 年美国能源政策法案的定义,替代燃料包括生物柴油、天然气、丙烷、电力、E85 乙醇汽油、甲醇、煤基等。替代燃料汽车是一

种设计为至少使用一种替代燃料驱动的专用、灵活燃料或双燃料汽车。

1) 纯电动汽车(BEV)

纯电动汽车顾名思义就是纯粹靠电能驱动(如铅酸电池、镍镉电池、镍氢电池或锂离子电池)的车辆,而不需要其他能量(如汽油、柴油等)。它可以通过家用电源(普通插座)、专用充电桩或者特定的充电场所进行充电,以满足日常的行驶需求。

2) 混合动力电动汽车

广义上讲,混合动力汽车(hybrid vehicle)是指车辆驱动系统由两个或多个能同时运转的单个驱动系统联合组成的车辆,车辆的行驶功率依据实际的车辆行驶状态由单个驱动系统单独或共同提供。

通常所说的混合动力汽车,一般是指油电混合动力汽车(hybrid electric vehicle, HEV),即采用传统的内燃机(柴油机或汽油机)和电机作为动力源。

3) 燃料电池汽车(FCEV)

燃料电池汽车是利用氢气等燃料和空气中的氧在催化剂的作用下在燃料电池中经电化学反应产生电能,并作为主要动力源驱动的汽车。燃料电池汽车也是电动汽车的一种,结构基本类似,只不过多了一个燃料电池和氢气罐。

纯燃料电池车只有燃料电池一个动力源,汽车的所有功率负荷都由燃料电池承担。燃料电池汽车多采用混合驱动形式,在燃料电池的基础上,增加了一组电池或超级电容作为另一个动力源。

4) 其他新能源汽车

其他新能源汽车包括使用高效储能器(如超级电容、飞轮等)和非常规的车用燃料(如乙醇、甲醇、二甲醚、氢气等)作为动力来源的汽车。

目前我国,新能源汽车主要是指插电式混合动力汽车、纯电动汽车和燃料电池汽车。

1.2 我国发展新能源汽车的意义

1.2.1 缓解石油短缺

发展新能源汽车是减少我国对国外石油依赖,解决快速增长的能源需求与石油资源终将枯竭(见图 1-1)矛盾的必由之路。近年来,我国汽车市场发展迅速,已成为全球第二大汽车市场。截止到 2016 年底,我国机动车保有量达 2.5 亿辆,其中汽车 1.7 亿辆;2016 年的汽车产销量双双突破 2400 万辆,石油年消耗量高达 3 亿 t。2016 年,我国人均 GDP 已达 8000 美元,消费结构升级是必然趋势,加之我国正处于工业化、城市化和机动化的重要阶段,汽车需求的快速增长难以避免。我国每千人汽车拥有量为 38 辆,与 139 辆的世界平均水平存在很大差距,汽车消费市场还有相当大的发展空间。预计到 2020 年,我国汽车保有量将达到 3 亿辆,如果全部使用石化能源,石油消耗量将达到 5 亿 t/年,进口量超过 58%(国际红线是 60%),油气资源形势严峻,再加上我国目前尚无保障石油进口通道的有效措施(马六甲海峡),能源安全将是我国经济发展的重大隐患。因此,大力发展新能源汽车是缓解我国石油短缺、降低石油对外依存度的重要措施。



图 1-1 夕阳下的油田

1.2.2 降低环境污染

新能源汽车不燃烧汽油和柴油,所使用的锂电池是国际公认的环保电池。加之与传统汽车相比,电动车在起动时没有污染,具有极好的环保性能。就效率而言,传统汽车的能源转化效率只有 17%,电动车的效率是 90%,即使考虑燃煤发电的效率损失,电动车的总效率也大于 30%,约为传统汽车的 2 倍,节能效果十分明显。特别是近年来,环境污染日益严重(见图 1-2),世界各国高度关注温室气体排放及气候变化问题,我国虽然是发展中国家,人均温室气体排放量水平较低,但由于我国人口众多,多年来国民经济持续快速发展,能源消费量已居世界第二位,今后面临的国际社会的压力也将逐步增大。有调查显示,全球大约 25% 的二氧化碳排放源于汽车尾气。如果我国能在新能源汽车领域率先实现突破,将改变我国在气候变化问题上的被动局面,并可为解决全球日益严重的能源环境问题作出贡献。



图 1-2 日益严重的环境污染

1.2.3 促进电力系统改革,加快智能电网建设

传统的电力系统,实际用电负荷的波动性与发电机组额定工况下所要求的用电负荷稳定性之间存在固有矛盾,如何处理电力系统的峰谷差一直是电网企业头疼的问题。我国电力装机已突破 8 亿 kW,并将继续快速增长,但目前电站的年利用小时数仅为 5000h,也就是说,许多机组是为了应对电力系统短时间的峰值负荷而建设的,如果措施得法,建设 6 亿 kW 的装机容量就够用了。试想,如果政府大力提倡发展新能源汽车,各个城市的居民都去买电动车,晚上用低谷的低价电为电动车充电,白天高峰时还可以用较高的价格向电网卖电,这可起到削峰填谷的作用,那么峰谷差的问题就迎刃而解了。按照这样的设想建起来的电网,将具有一定的自我调节能力,电力系统的发、输、配、售、用以及调度等各个环节将形成有效的互动,成为一个智能化的有机整体,从而极大地提高电力系统的安全性和可靠性。可以预期,作为智能电网(见图 1-3)建设的重要组成部分,新能源汽车将带来电力系统的一场革命。



图 1-3 国家智能电网

1.3 新能源汽车发展的现状

1.3.1 国外现状

目前,引领新能源汽车发展的主要还是美国、日本以及欧洲的一些国家。这些国家的新能源汽车技术起步比我国要早很多,它们的发展也各有侧重。

美国长期侧重于降低石油依赖、确保新能源安全的战略,将发展新能源汽车作为交通领域实现根本上摆脱石油依赖的重要措施,并以法律法规的形式确定了新能源汽车的战略地位。早在克林顿时期,美国就提出了以提高燃油经济性为目标的计划,混合动力是当时主要的技术解决方案。到了布什时期,变为追求零排放和零石油依赖,技术解决方案主要是氢燃料电池汽车,后来还有一个计划,想用 10 年的时间实现 20% 的石油替代和节约,主要措施

是生物质燃料。国际金融危机以后,奥巴马政府将大力发展电动汽车作为实施新能源战略的重要内容,提出了总额40亿美元的动力电池以及电动汽车研发和产业化的计划,产品上选择了以插电式混合动力电动车为重点。

日本长期坚持确保能源安全和提高产业竞争力的双重战略,通过制定国家目标引导新能源汽车产业的发展,同时高度重视技术创新。2006年,日本提出了新的国家能源战略,目标是到2030年交通领域对石油的依赖从100%降到80%。为配合新能源战略的实施,日本提出了下一代汽车燃料计划,明确提出改善和提高汽车燃油经济性标准,推进生物质燃料的应用,促进电动汽车和燃料电池汽车的应用等。近年来,日本又将大力发展电动汽车作为低碳革命的重要内容,并且计划到2020年普及以电动汽车为主体的下一代汽车。目前,日本正全面发展三类电动汽车,其混合动力电动汽车的全球销量第一;在纯电驱动汽车方面,日本的产品规划和产业化推进步伐也是最快的。另外,日本燃料电池产品的研发和产业化推进也领先于其他国家。

相对于美国和日本,欧洲更加侧重于温室气体减排战略。满足日益严格的二氧化碳排放限制要求已经成为欧洲对新能源汽车发展的主要驱动力。欧洲的新能源汽车发展在早期主要以生物质燃料、天然气以及氢燃料为主,21世纪初曾经提出到2020年23%的石油替代目标。近期,欧洲则对电动汽车给予高度关注。例如德国2009年下半年发布的电动汽车计划,高度重视纯电驱动的电动汽车发展,以纯电为重点,分别提出了2012年、2016年、2020年的产业化和市场化目标。

1.3.2 国内现状

我国发展新能源汽车,是应对节能减排重大挑战的需要,同时也是汽车产业跨越式发展和提升国际竞争力的需要。欧美日等国家,都把新能源汽车作为战略制高点来考虑,国家投入大量人力物力来加强产业的发展。我国传统汽车领域和国外相比还比较落后,但在新能源汽车方面,我们和发达国家是站在同一个起跑线上,若根据“弯道超车”的说法,我们有机会在新能源汽车领域与西方发达国家在一个平等的层面上创新。我国汽车工业长期来看,将以纯电驱动作为技术转型的主要战略方向,重点突破电池、电机和电控技术,推进纯电动汽车、插电式混合动力汽车的产业化,实现汽车工业的跨越式发展;近期将以混合动力汽车为重点,大力推广普及节能汽车,逐步提高我国汽车燃油经济性水平。“十二五”期间我国将大力发展节能汽车,中度、重度混合动力乘用车保有量计划超过100万辆,但该数据占总体汽车保有量的比例依然较小;并预计到2020年,纯电动汽车和插电式混合动力汽车逐步实现产业化,市场保有量有望超过500万辆。

从2001年开始,我国“863”项目共投入20亿元研发经费,形成了以纯电动、油电混合动力、燃料电池三条技术路线为“三纵”,以动力蓄电池、驱动电机、动力总成控制系统三种共性技术为“三横”的电动汽车研发格局,共计有200多家整车及零部件企业、高校和科研院所,超过3000名科技人员直接参与了电动汽车研发的专项工作。到目前为止,共有超过160款各类电动汽车进入我国汽车产品公告,建成了30多个电动汽车国家重点实验室等国家级别的技术创新平台,已制定电动汽车相关标准40多项。

近几年,我国陆续出台了节能与新能源汽车示范推广以及私人消费补贴的相关政策,并在不断扩大试点范围。在政策的支持下,我国新能源汽车消费市场开始启动,电动汽车基础

设施建设也得到初步发展,部分城市已经形成了网络雏形。随着 2009 年“十城千辆”工程的实施,电动汽车能源供给基础设施的潜在机会开始受到重视,国家电网公司、南方电网公司、普天海油公司等能源企业,围绕国家新能源汽车发展战略,强势介入充电基础设施建设,各示范城市和社会各界也积极响应。我国充电基础设施发展的目标是到 2020 年,建成集中充换电站 1.2 万座,分散充电桩 480 万个,满足全国 500 万辆电动汽车充电需求。

第 2 章 替代燃料汽车

2.1 气体燃料汽车

气体燃料汽车主要包括天然气(natural gas, NG)汽车和液化石油气(liquefied petroleum gas, LPG)汽车。

2.1.1 天然气汽车

1. 天然气汽车的特点

1) 天然气汽车的优点

(1) 可充分利用天然气资源,替代十分短缺的汽油、柴油

我国的能源十分紧缺,石油的依存度约为 50% 需要进口,且随着汽车工业的迅猛发展,缺口还在不断增加。而近几年,我国相继在柴达木、塔里木、陕甘宁、东海、南海等地发现了大型天然气气田。“西气东输”管线的贯通,标志着中国天然气时代已经到来。发展天然气汽车将成为调整能源结构的有效途径。

(2) 能有效减轻大气污染

据统计,我国重度污染城市已达 14 个,其中北京、沈阳、西安、上海、广州等城市已被列为世界污染最严重的城市。而汽车是大中城市的重要污染源,所占比例达 50% 以上。资料表明,北京的氮氧化物已连续五年超过国家有关标准,汽车尾气造成的污染,已经给人们的生活造成严重影响。上海市曾出现了较大范围的光化学烟雾。在广州,空气污染程度超过国家规定的 1.6 倍,并已出现光化学烟雾污染的先兆。天然气汽车的排气污染大大低于以汽油为燃料的汽车,尾气中不含硫化物和铅,一氧化碳降低 80%,碳氢化合物降低 60%,氮氧化物降低 70%。因此,许多国家已将发展天然气汽车作为一种减轻大气污染的重要手段。

(3) 有显著的社会效益和经济效益

① 可降低汽车运营成本。若一辆汽车改装为压缩天然气、汽油两用燃料汽车,由于存在油气差价,每年可节约燃料费约 1.1 万元。如今天然气汽车超过 30 多万辆,每年可节约燃料费 33 亿元。

② 可代替大量汽油。按一辆中型车年行驶 50000km 计算,天然气汽车可替代约 10.5t 汽油;发展 30 万辆,可替代汽油 315 万 t。

③ 可促进天然气的充分利用。伴生气和偏远井、低产井所产天然气因不具集输价值,所产天然气被白白浪费。通过发展压缩天然气、建设子母站,可充分利用这些零散气。

④ 可节省汽车的维修费用。汽车发动机使用天然气作燃料,运行平稳、噪声低、不积炭,能延长发动机使用寿命,不需经常更换机油和火花塞,可节约 50% 的维修费。

⑤ 天然气汽车的发展还将带动相关产业,特别是机器制造业的发展(如压缩机、车用燃气装置以及储气瓶的生产),为开创新兴产业提供了机遇。

(4) 比汽油汽车更安全

与汽油相比,压缩天然气是更为安全的燃料,表现在以下几点:

① 燃点高。天然气燃点在 650℃ 以上,比汽油燃点 427℃ 高出 223℃。因此,与汽油相比,天然气不易点燃。

② 密度低。天然气与空气的相对密度为 0.48,泄漏气体可很快散发,很难形成遇火燃烧的浓度。

③ 辛烷值高。天然气的辛烷值可达 130,比目前最好的 97# 汽油辛烷值高得多,抗爆性能好。

④ 爆炸极限窄。天然气的爆炸极限仅为 5%~15%,在自然环境中,形成这一条件十分困难。

⑤ 释放过程是一个吸热过程。当压缩天然气从容器或管路中泄出时,泄孔周围会迅速形成一个低温区,使天然气燃烧困难。

⑥ 安全系数高。天然气汽车的发展已有 70 多年,其储气瓶、减压设备及高压系统零部件的安全系数均在 1.5~4 以上;且在控制系统中安装有紧急断气装置。

(5) 燃油、燃气、油气燃料转换方便

由于任何汽油都可在原供油系统保留不变的情况下,加装一套车用燃气装置,实现燃气、燃油两种功能。汽车对燃料适用性的增强,使一次充装油气行驶距离增大。油气转换只需一个切断开关,任何时候都可迅速实现转换,操作非常方便。此外,压缩天然气的充装也与普通汽车加油一样简单,快速充气只需 3~10min。

2) 天然气汽车的缺点

(1) 汽车的输出功率略有降低。改装双燃料汽车,因要兼顾燃油、燃气两种条件,对原发动机的压缩比和燃烧室结构等均不做变动,所以在使用燃气时,汽车输出功率一般都有所下降,通常情况下,要降低 5%~15%。

(2) 整车质量增加。增加一次充气连续行驶距离的办法是增加储气瓶,因此整车的质量也相应增加,轴荷分配随之增加。通常改装一台天然气汽车,整车质量的增加值不应超过 500kg。

(3) 天然气气瓶占用了用于其他用途的空间,如行李厢、工具箱等。

(4) 气瓶的充装压力较高,泄漏后风险性很大,操作不当存在爆炸的危险。

2. 天然气汽车的分类

1) 按燃料状态分类

(1) 压缩天然气汽车(compressed natural gas vehicle,CNGV)

储气瓶内的天然气以高压(通常是 20MPa)气态储存,工作时经降压、计量和混合后进

入气缸,也可以直接喷入气缸或进气管。

(2) 液化天然气汽车(liquefied natural gas vehicle,LNGV)

储气瓶内的天然气以液态储存,工作时液化天然气经升温、计量和混合后进入气缸,也可以直接喷入气缸或进气管。由于天然气液化后的体积仅为标准状况下体积的 $1/625$,储带方便,应用潜力较大。

(3) 吸附天然气汽车(absorbed natural gas vehicle,ANGV)

储气瓶内的天然气以吸附方式(压力通常为 $3.5\sim6\text{MPa}$)储存,工作时经降压、计量和混合后进入气缸,也可以直接喷入气缸或进气管。

2) 按燃料供给系统特征分类

(1) 单燃料压缩天然气汽车

单燃料压缩天然气汽车仅使用压缩天然气(compressed natural gas,CNG)作为发动机的燃料,其发动机在燃料供应系统、工作循环参数、配气机构参数等方面一般都针对 CNG 的物化特性进行了专门设计,因此燃烧热效率较高、经济性较好。

(2) CNG/汽油两用燃料汽车(多用)

CNG/汽油两用燃料汽车一般是指具有两套燃料供应系统,一套供给天然气,另一套供给汽油,两套燃料供给系统可分别但不可同时向气缸供给燃料的汽车,但在使用中可以在两种燃料之间进行灵活切换。此类汽车与单一燃料汽车相比,由于要兼顾两种燃料的物化特性,发动机结构参数几乎不作改造,因此燃烧热效率不高、经济性一般。

(3) CNG/柴油双燃料汽车

CNG/柴油双燃料汽车一般是指具有两套燃料供应系统,一套供给天然气,另一套供给柴油,两套燃料供给系统按预定的配比向气缸供给燃料,在缸内混合燃烧的汽车。CNG 为主燃料,柴油起引燃作用。此类发动机结构参数也几乎不作改动,并可在单纯燃烧柴油和 CNG 与柴油同时混烧两种工况间灵活切换。

3) 按燃料供给的控制方式分类

(1) 机械控制式天然气汽车,即以机械方式为主控制天然气供给的天然气汽车。

(2) 机电联合控制式天然气汽车,即以机电联合控制方式控制天然气供给的天然气汽车。

(3) 电控式天然气汽车,即利用计算机来控制不同工况下天然气供给的天然气汽车。电控式又有开环和闭环之分。

3. 天然气汽车的结构

天然气汽车由专用装置储气瓶、高压管线、管路接头、气压表、显示器、手动截止阀、高压电磁阀、过滤器、过流保护阀、减压调节器、低压软管、循环水管、空气燃料混合器(燃料喷射器)、发动机控制系统等组成。

1) 储气系统

储气系统主要包括储气瓶、充气阀、高压管线及高压接头、手动截止阀、气压显示装置等部件。

(1) 储气瓶

CNG 汽车储气瓶是天然气汽车重要的专用部件,其成本约占 CNG 汽车改装成本的 $30\%\sim70\%$ 。车用气瓶的储气压力为 20MPa ,这是综合考虑到车用气瓶的容积质量比以及

降低加气站运行成本等多因素综合确定的优化结果。过高的储气压力反而会导致气瓶容积效率比的下降及加气站运行费用的升高。

压缩天然气储气瓶可分为四类：

- ① 第一类是钢或铝合金金属瓶(NGV2—1)；
- ② 第二类是钢或铝内衬加筒身“环箍缠绕”树脂浸渍长纤维加固的复合材料气瓶(NGV2—2)；
- ③ 第三类是钢或铝内衬加“整体缠绕”树脂浸渍长纤维加固的复合材料气瓶(NGV2—3)；
- ④ 第四类是塑料内衬加“纵向整体缠绕”树脂浸渍长纤维加固的复合材料气瓶。

我国目前主要使用的是钢质气瓶,该类瓶生产成本较低,安全耐用,容积率高,但重容比大、质量大。复合材料瓶最大的优点是重容比小、质量轻,但生产成本高、价格贵、容积效率低。

(2) 减压调节器

根据减压后输出压力的大小可以把减压调节器分为负压输出的减压调节器(见图 2-1)和正压输出的减压调节器(见图 2-2)。

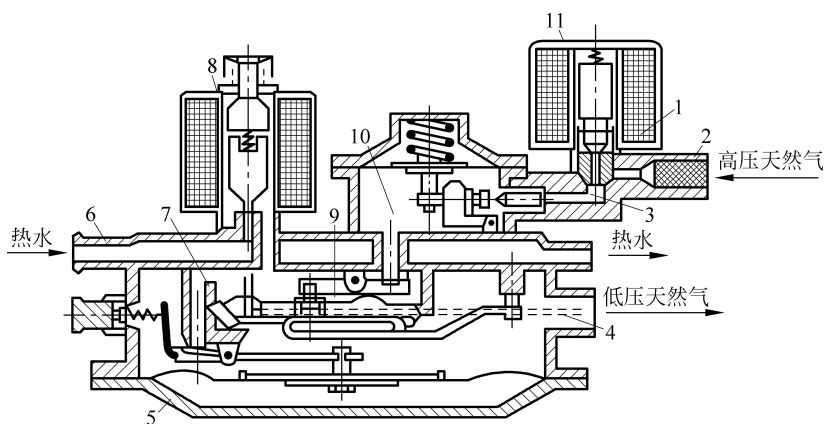


图 2-1 负压输出的减压调节器

- 1—先导阀；2—天然气滤清器；3—主通道；4—低压出气管；5—通大气口；6—加热水道；7—三级减压阀；8—急速电磁阀；9—二级减压阀；10—一级减压阀；11—高压电磁阀

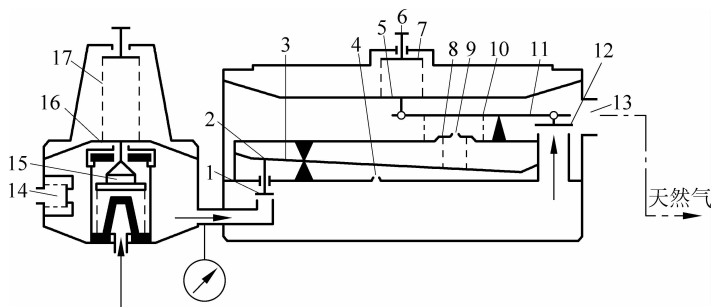


图 2-2 正压输出的减压调节器结构原理图

- 1—二级阀片及阀座；2—顶杆；3—二级调压器膜片组；4,9—通道；5—三级调压器膜片组；6—调压螺栓；7,10—三级调压弹簧；8—二级调压弹簧；11—三级调压杆；12—三级阀片及阀座；13—压力调节器输出接口；14—安全阀总成；15—高压阀芯；16—膜组片；17—调压弹簧