



我国天然气汽车动力技术发展趋势

邹博文

中国汽研-国家燃气汽车工程技术研究中心

2016年5月





目 录

1

天然气汽车产业概况

2

技术历程与目前现状

3

乘用车动力技术趋势

4

商用车动力技术趋势

5

关键零部件技术趋势

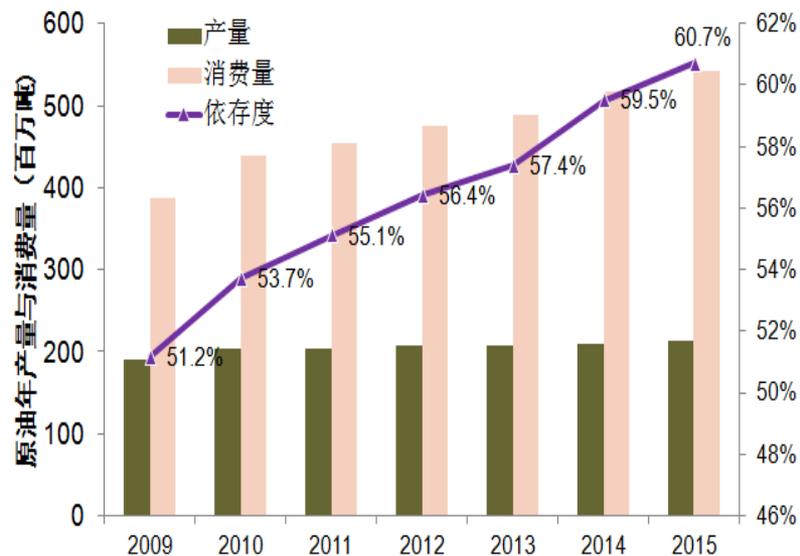


一、天然气汽车产业概况

1. 能源安全

内燃动力数十年内不会终结！

- 1993年全球石油储采比43年，2003年为47年，2013年为53年；页岩气、可燃冰带来能源革命
- 2015年我国内燃机销售5707.3万台，达21.4亿kW（比2009年增长近1倍），电力总装机容量仅约14亿kW（比2009年增长约60%）



中国车用能源将会日益紧张！

- 2015年汽车产销超2450万辆，连续7年全球第一，总产值约8万亿元
- 汽车保有1.7亿辆，千人保有约120辆，世界平均150辆，发达国家600~800辆，2020年约3亿辆
- 石油依存度60.7%，连续7年超警戒线，2020年将超70%

汽车发展事关

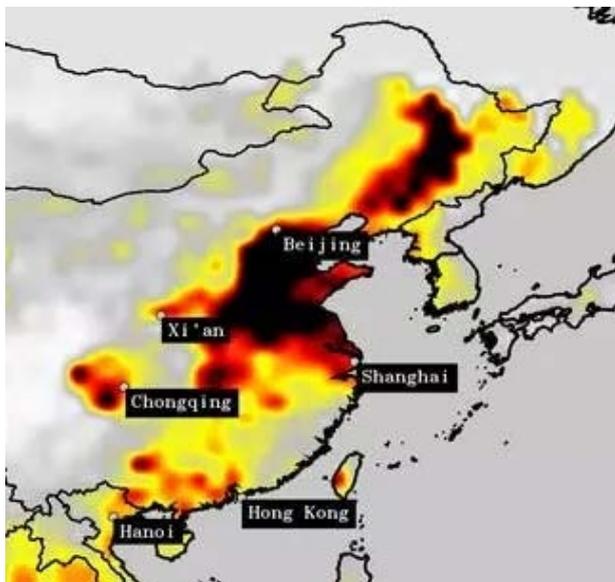
国家能源安全



一、天然气汽车产业概况

2. 环境保护

- 2014年我国汽车尾气排放总量3928.2万吨，其中NO_x为578.8万吨（占全国总排放的27.9%）、CO为2942.7万吨、HC为351.7万吨，汽车尾气污染已占大中城市底层大气污染的60%以上
- 2014年汽车PM排放55万吨，是城市雾霾天气的主要成因之一



2015年卫星数据 displays 的中国大气颗粒物污染情况

排名	省份	2015年PM _{2.5} 年平均浓度 (微克/立方米)
1	河南	80.7
2	北京	80.4
3	河北	77.3
4	天津	71.5
5	山东	66.4
6	湖北	65.9

汽车发展与环境保护的矛盾日益突出



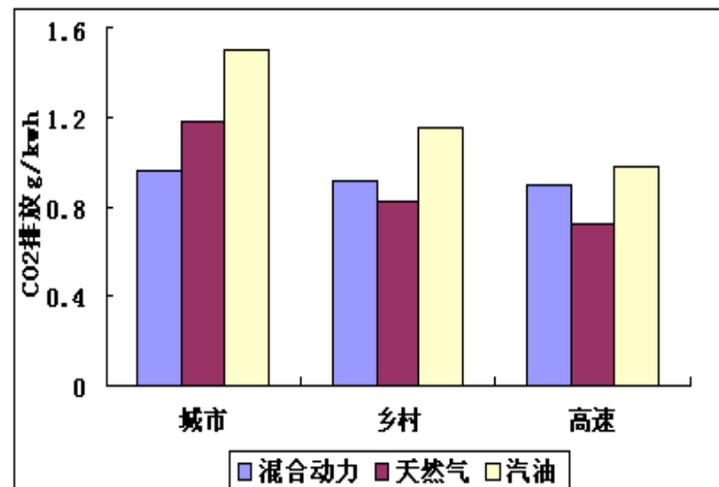
一、天然气汽车产业概况

3. NGV节能减排效益

◆ 天然气是一次能源消费，能源效率高，2015年车用天然气约260亿m³（占消费总量约13%），等效替代燃油超过1800万吨

◆ 天然气汽车在WTW内，较汽油车HC减72%，CO₂减33%，NO_x减29%；较柴油车HC减22%，CO₂减9%，NO_x减63%，且无铅、苯等致癌物质，也基本不含硫化物；PM排放极低

◆ 即使和汽油混合动力相比，天然气汽车在乡村和高速上的CO₂排放仍有明显优势



数据来源：瑞士联邦环境办公室（FOEN），2010年9月

	HC	CO ₂	CO	NO _x	SO _x
汽油	1.747	451	11.166	1.187	0.382
柴油	0.616	333	0.617	2.284	0.261
LPG	0.925	340	9.487	1.016	0.222
天然气	0.482	304	8.476	0.847	0.030

不同车用能源排放对比（来源：中国汽车技术研究中心）

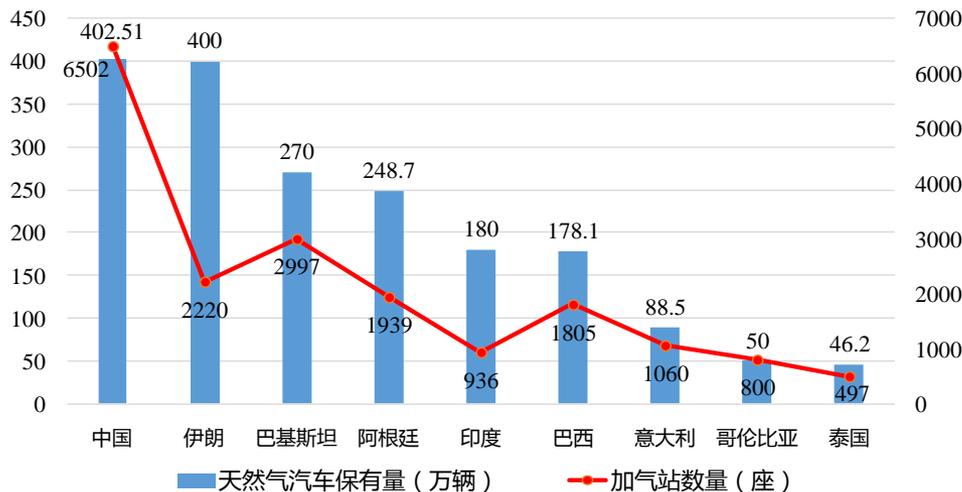
天然气汽车节能减排
效果好，是车用能源
替代的主要途径之一



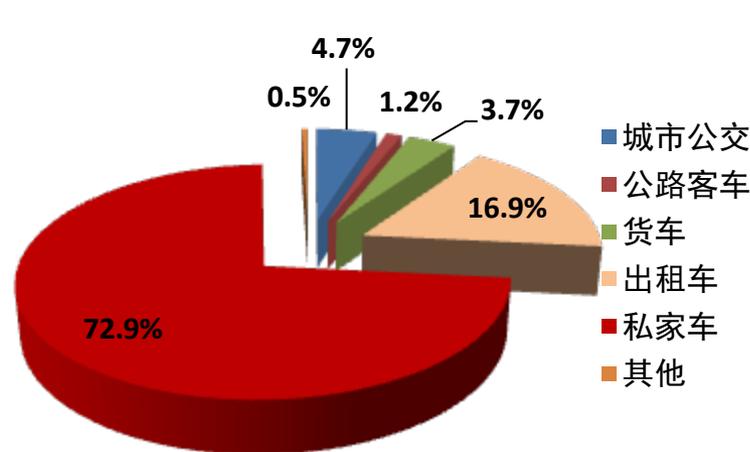
一、天然气汽车产业概况

4. NGV发展概况

- 全球86个国家推广NGV，保有2234万辆，亚洲发展最快
- 中国33个省级行政区推广NGV，保有约500万辆，加气站超过7000座
- 私家车快速增长，保有量超过350万辆，占比超过70%，2009~2014年均增长63.3%



2014年全球主要国家NGV保有量及加气站数量



中国NGV车型结构分布



一、天然气汽车产业概况

5. 整车产品

- ❖ OEM原厂车产销量近30万辆/年（乘用车约20万辆/年，商用车约8~10万辆/年）
- ❖ 乘用车发动机生产企业约30家，排量1.0~2.4L，功率34~100kw；商用车发动机企业10余家，排量1.0~13L，功率38~400kw
- ❖ OEM原厂新车公告几乎全部达到国V排放



一汽大众捷达CNG轿车



广汽GA5 CNG轿车



吉利帝豪CNG轿车



五菱荣光CNG微面



宇通LNG客车



陕汽德龙LNG重卡



福田时代CNG轻卡



合叉LNG叉车



一、天然气汽车产业概况

6. 专用装置及部件产品

- ❖ 气瓶产销超过200万只/年；自主发动机ECU、减压器、喷嘴等关键零部件批量进入OEM市场
- ❖ 压缩机和加气机等站用设备实现国产化，国产份额达90%以上，部分产品达到100%



张家港富瑞车用LNG气瓶



苏州中材车用CNG气瓶



温州强盛CNG压缩机



重庆耐德LNG加气机



中国汽研发动机ECU、喷嘴、减压器



目 录

1

天然气汽车产业概况

2

技术历程与目前现状

3

乘用车动力技术趋势

4

商用车动力技术趋势

5

关键零部件技术趋势



二、技术历程与目前现状

1. 技术发展历程

十五

科技攻关计划

清洁汽车产业化关键技术研究示范

- 构建产业技术基础
- 形成自主集成技术
- 开展重点示范工程

十一五

863计划

节能与新能源汽车

- 掌握专用部件设计
- 构建自主技术平台
- 深入推广示范应用

十二五

863计划

汽车动力总成关键技术
科技支撑计划

- 研发高效动力总成
- 开发先进电控系统
- 提升关键部件性能

十三五

国家重点研发计划

大气污染成因与控制
技术研究

- 后处理系统关键技术
- 国 VI 排放的控制技术
- 防污重点区域的示范

国家科技战略对燃气汽车关键技术研发规划



二、技术历程与目前现状

2. 主流技术现状

动力系统

- **乘用车**：燃料两用为主，发动机不变，较汽油动力下降12%~15%，1L油 \approx 1.1m³气，通过电控匹配和后处理达国IV/V
- **商用车**：单燃料为主，稀燃+DOC满足国V，1L柴油 \approx 1.3m³天然气；双燃料技术正在推广应用

电控系统

- **乘用车**：主从式双ECU为主，部分为单ECU，当量比燃烧
- **商用车**：基础来源汽油机控制，ETC+集中喷射+稀燃闭环

部件装置

- **气瓶**：CNG的I型和II型气瓶已大规模商业化，部分企业突破III型瓶技术，LNG气瓶也已国产化
- **关键部件**：减压器、喷嘴设计技术已突破，制造工艺技术逐步提升



二、技术历程与目前现状

3. 相关技术标准-概述

GB/T17676—1999天然气汽车和液化石油气汽车 标志词汇
GB/T17895—1999天然气汽车和液化石油气汽车

专用装置技术条件、安装要求、减压调节器、专用装置、电磁阀、高压管路等

GB/T26780—2011压缩天然气汽车燃料系统碰撞安全要求
GB/T23335—2009天然气汽车定型试验规程
GB/T29125—2012压缩天然气汽车燃料消耗量试验方法
GB/T18437.1—2009燃气汽车改装技术要求 第1部分：压缩天然气汽车
GB19344—2003在用燃气汽车燃气供给系统泄漏安全技术要求及检验方法
GB/T27876—2011压缩天然气汽车维护技术规范

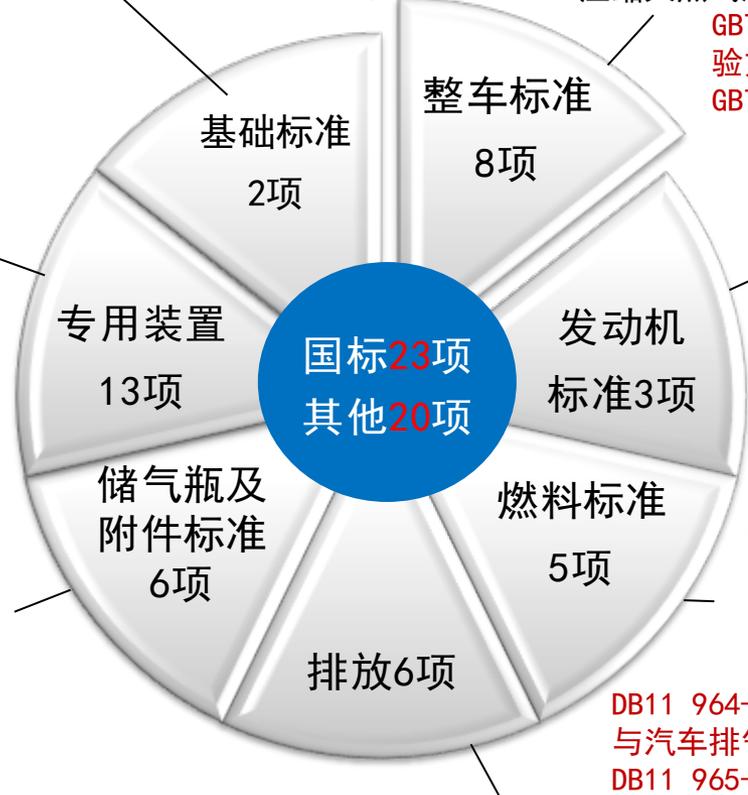
GBT29125-2012压缩天然气汽车燃料消耗量试验方法
GB7258-2012 机动车运行安全技术条件

QC/T691—2011车用天然气单燃料发动机技术条件
QC/T692—2011汽油/天然气两用燃料发动机技术条件
QCT694—2002柴油/压缩天然气双燃料发动机技术条件

GB 18047—2000 车用压缩天然气
GB/T 26127-2010 车用压缩煤层气
GB/T 19204-2003液化天然气的一般特性
GB/T 13611-2006 城镇燃气分类和基本特性
GB 17820-2012 天然气

DB11 964-2103车用压燃式、气体燃料点燃式发动机与汽车排气污染物限值及测量方法（台架工况法）
DB11 965-2013重型汽车排气污染物排放限值及测量方法（车载法）

GB18352. 5-2013轻型汽车污染物排放限值及测量方法（中国第五阶段）
GB17691-2005车用压燃式、气体燃料点燃式发动机与汽车排气污染物排放限值及测量方法（中国III、IV、V阶段）
HJ437-2008车用压燃式、气体燃料点燃式发动机与汽车车载诊断(OBD)系统技术要求



GB/T18363—2001汽车用压缩天然气加气口
GB17258—2011汽车用压缩天然气钢瓶
GB17926—2009 车用压缩天然气瓶阀
GB19533—2004汽车用压缩天然气钢瓶定期检验与评定
GB24160—2009车用压缩天然气钢质内胆环向缠绕气瓶
GB24162—2009汽车用压缩天然气金属内胆纤维环缠绕气瓶定期检验与评定



二、技术历程与目前现状

3. 相关技术标准-燃料标准技术关键点

热值 组分

- 车用气为10T或12T，热值 $\geq 31.4 \text{ MJ/m}^3$ ，华白数39~55，燃烧势31~69
- CNG没规定组分；煤层气 $\text{CH}_4 \geq 83\%$ ；LNG $\text{CH}_4 \geq 75\%$ 且 $\text{N}_2 \leq 5\%$ ；页岩气无标准，SNG含2%~5%的 H_2 且无标准

有害 成分

- 由新版GB17820：一类气可直接车用：二类气 $\text{HS} \leq 20 \text{ mg/Nm}^3$ ，接近车用标准
- GB18047可能按新版ISO15403修正，不添加水合物抑制剂，不规定具体水露点，但可能按地区规定含水量

机油 含量

- 新版ISO15403建议将CNG中油分含量控制在 $70 \sim 200 \text{ mg/Nm}^3$
- 国内尚无该类要求，也无相关检测方法

• 热值和组分范围都很宽，即使热值相近，重烃或 H_2 组分会影响空燃比和燃烧速率

• 常规闭环控制仅20%~30%修正，主要针对制造散差或运行磨损，“快速燃料自主学习控制系统”是发展趋势

• 气质提升可能使加气站停用脱硫装置，硫含量反而上升，对催化剂有害

• 规定含水量是标准提升，但若分地区，执行或有差异，易造成含水量高

• 车用燃气系统需强化金属部件抗腐蚀设计，例如关键部件采用不锈钢

• CNG中少量机油有利于零部件润滑，过多会造成堵塞，LNG中无机油

• CNGV考虑过滤装置纳污容积及更换，LNGV则考虑耐磨性设计



目 录

1

天然气汽车产业概况

2

技术历程与目前现状

3

乘用车动力技术趋势

4

商用车动力技术趋势

5

关键零部件技术趋势



三、乘用车动力技术趋势

1. 技术需求分析

动力性

- 动力性下降12%~15%，先进汽油下降约20%
- 整车比汽油差半个档，起步和高速加速慢

经济性

- 油、气差价大幅缩小，营运车经济效益低
- 四阶段油耗法规实施，天然气减碳排放好

排放性

- WLTC、RDE工况，对瞬态控制的要求更高
- 排放限值降30%，HC、NO_x综合优化更细
- 排放限值PM和PN，比GDI汽油机更有优势

使用性

- 加气站7000多座，较加油站仍差数量级
- 续驶里程不足，纯单燃料车市场推广难

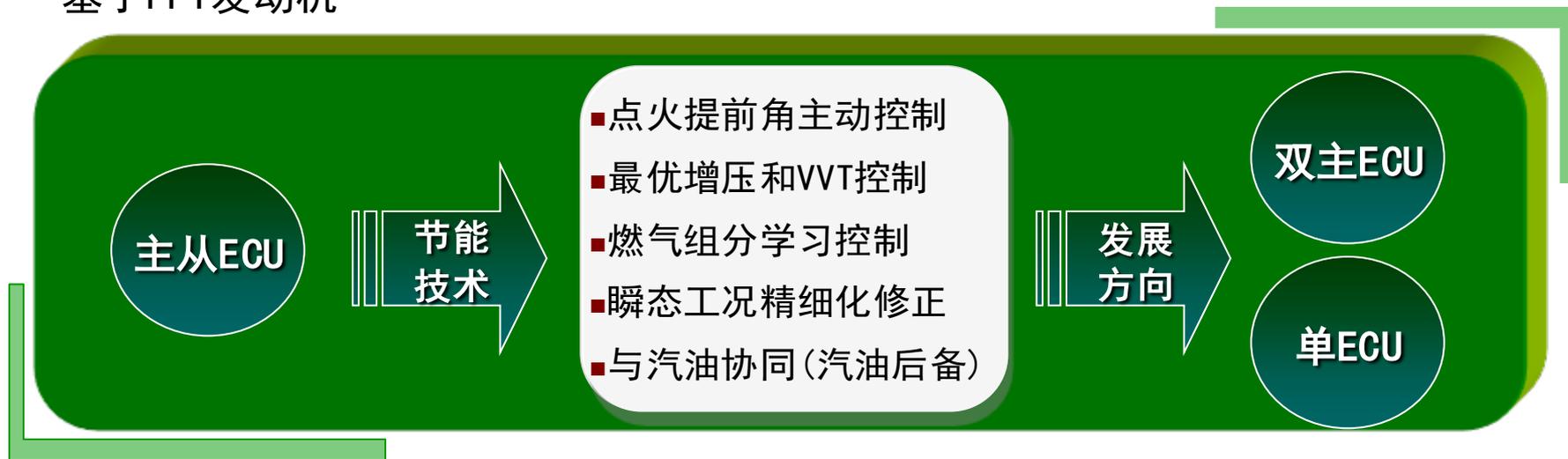
专机技术
先进电控



三、技术发展现状与趋势

2. 电控系统技术—概述

• 基于PFI发动机



• 基于GDI发动机

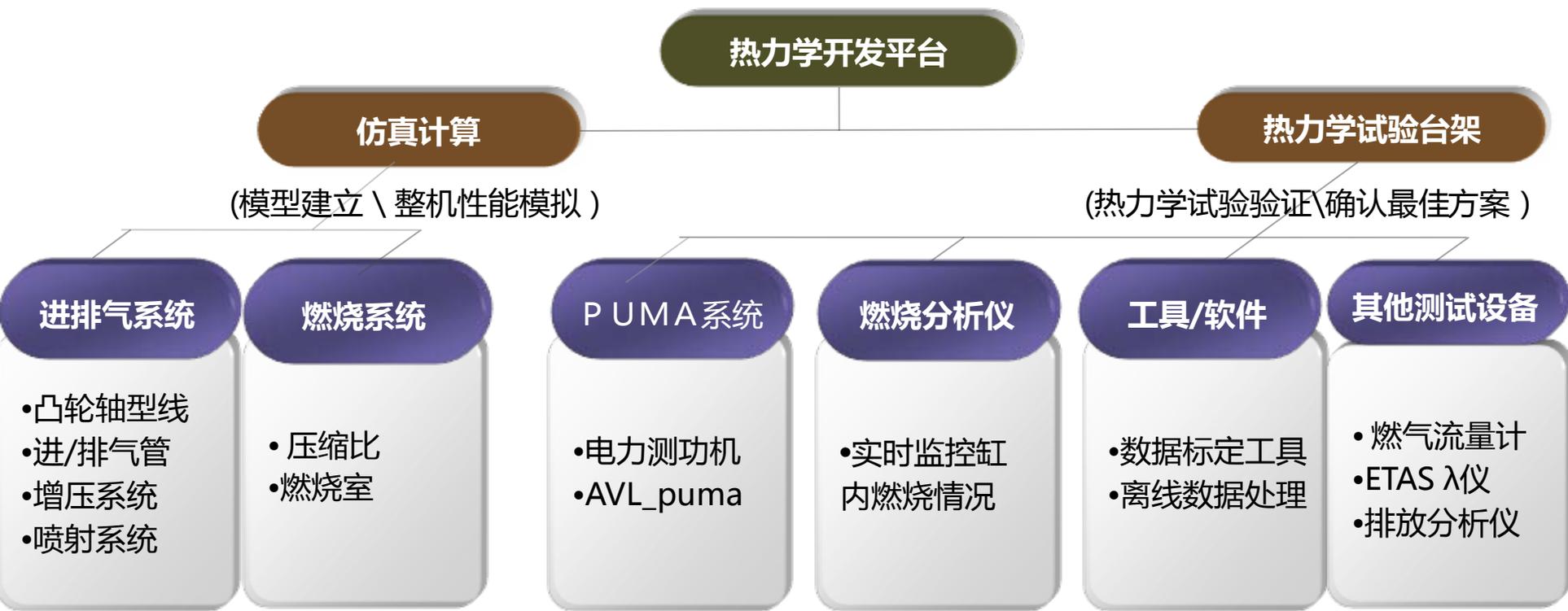
- ✓ GDI结合VVT或增压可降油耗20%以上，是汽油先进技术趋势，燃气必须紧跟应用
- ✓ 基于GDI汽油机可发挥天然气抗爆性优势，进一步提升燃气时的效率并降低排放
- ✓ 技术研发的关键是燃气喷射模型、VVT（增压）最优控制和油气的最优协同控制

总体趋势：紧随汽油技术，结合燃料特性，提升整机效率！



三、技术发展现状与趋势

3. 专用发动机技术—开发平台



开发流程

- 以动力性和高效燃烧为目标的仿真计算及热力学试验
- 以整机综合性能为目标的电控及后处理系统匹配标定
- 以整车综合性能及环境适应性为目标的系统匹配标定



目 录

1

天然气汽车产业概况

2

技术历程与目前现状

3

乘用车动力技术趋势

4

商用车动力技术趋势

5

关键零部件技术趋势



四、商用车动力技术趋势

1. 技术需求分析

发展需求

- 国VI排放标准要求NO_x从2g/kwh降至0.46g/kwh，加严77%
- 稀燃+SCR方案生产成本增加1.5~2万元，尿素增加使用成本
- 目前油气差价，终端用户和能源企业希望柴油替代比 $\leq 1.2:1$

发展方向

- 当量比+三元催化的低成本国VI技术方案
- 整机热负荷、动力性和经济性的综合优化





四、商用车动力技术趋势

2. 电控系统技术—概述

扭矩控制

- 基于驾驶员扭矩需求，反算节气门、喷射、点火等最佳参数
- 没有扭矩输出浪费，响应快、控制更精准，更节能
- 不依赖工程师经验，一致性和重复性更好

工况区分

- 更低怠速：从650rpm降为550rpm，更节能
- 精准区分瞬态工况、三高环境，控制更精细
- 最佳经济区控制：公交车 1100~1300rpm；货车 1600~1800rpm

灵活需求

- 具有ECO模式，ECO模式时节气门响应较慢，但更节能
- 兼容当量比和稀燃，节省开发周期和费用

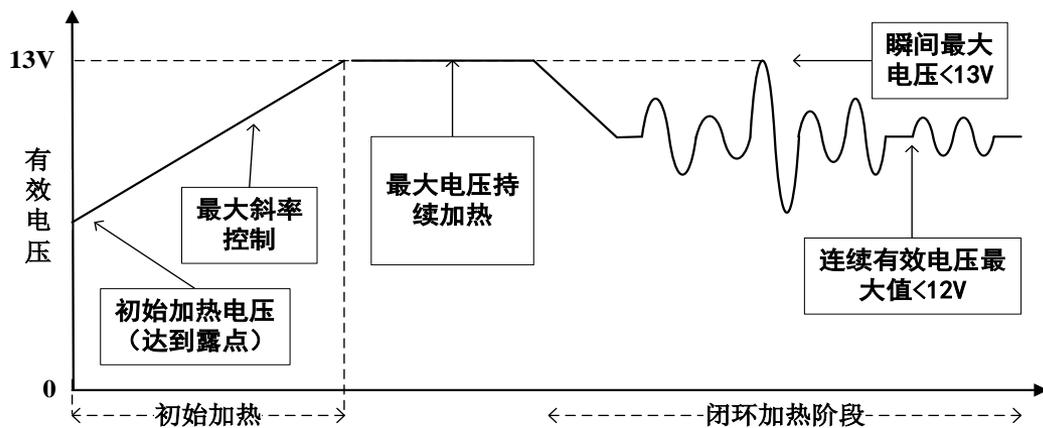
更精细、更精准、更灵活的控制策略是发展方向



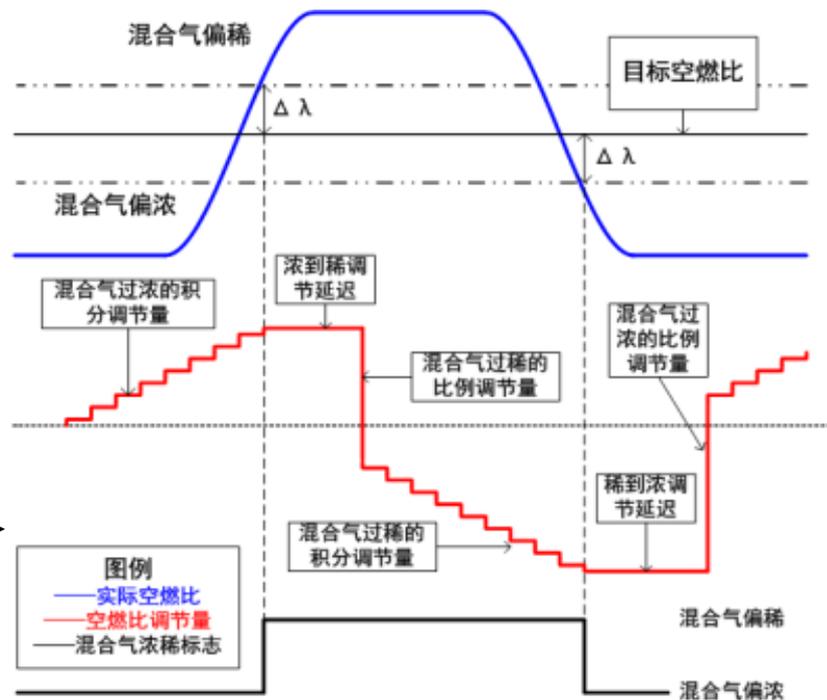
四、商用车动力技术趋势

2. 电控系统技术—空燃比控制

- **氧传感器加热控制**：基于温度反馈和排温模型的闭环控制，兼容宽域型和开关型
- **空燃比闭环控制**：调节范围 $\lambda = 0.9 \sim 1.7$ ，可用宽氧实现空燃比振荡控制



基于排温的三段式氧传感器加热控制



当量比闭环控制



四、商用车动力技术趋势

3. 专用发动机技术—应用案例（10L增压机）

- **整机优化**：对进/排气系统、活塞（环）、点火、增压、冷却水泵等进行优化设计
- **技术路线**：当量比+三元催化进行国VI排放开发
- **标定策略**：以排温和爆发压力为边界条件，对点火、增压度、空燃比等进行优化匹配



额定功率(kW)	205@2200rpm
最大扭矩 (N.m)	1130@1400rpm
最低燃料消耗率(g/(kW.h))	213.7
最高排温 (°C)	750



开发现场



四、商用车动力技术趋势

4. 柴油天然气双技术—概述

• 双燃料相比天然气单燃料更具优势

- 压缩比高，热效率更高
- 液体火花塞，燃烧更充分，扩大稀燃极限
- 可纯柴油运行/跛行回家，续驶里程更长
- 快速解决在用车排放特别是“黄标车”黑烟问题



• 两种燃料最优协同控制是技术关键

- 替代率、替代比和燃烧稳定性的最优匹配
- “减油”和“加气”控制的最优协同策略



四、商用车动力技术趋势

4. 柴油天然气双技术—应用案例

- 中国汽研完成福田轻客、重汽豪沃、北奔重卡、陕汽德龙双燃料开发
- 在中石油青海油田等地示范运行，综合替代率达60%~70%



福田风景4JB1 85kW



重汽豪沃,日野T11C-UH 240kw



陕汽德龙 潍柴WP12 279kw



金龙/朝柴4110/120kw



北奔/潍柴WP10/213kw



➤ 其他应用

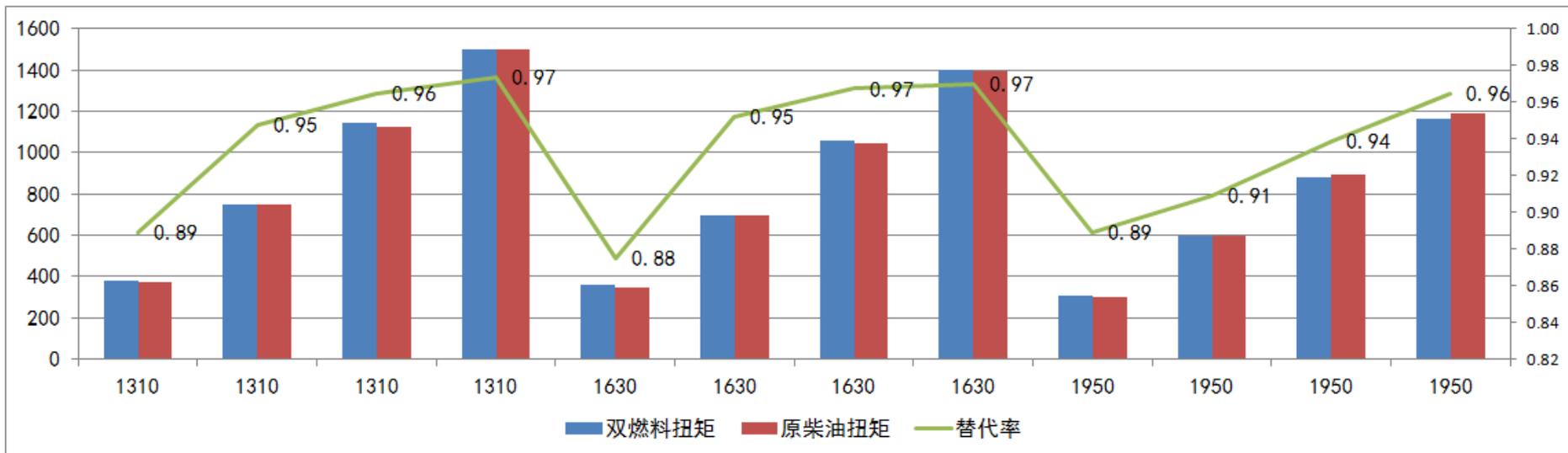
- ◆ 航运船舶
- ◆ 发电机组
- ◆ 工程机械
- ◆ 农用机械



四、商用车动力技术趋势

4. 柴油天然气双技术—引燃式天然气案例（10L增压柴油基础机）

- 按国外标准，替代率 $\geq 90\%$ 可认为是单燃料
- 实机开发：动力性与原机相当，综合替代率可达94%



动力性对比及柴油替代率



目 录

1

天然气汽车产业概况

2

技术历程与目前现状

3

乘用车动力技术趋势

4

商用车动力技术趋势

5

关键零部件技术趋势



五、关键零部件技术趋势

气瓶

➤ CNG气瓶轻量化技术

- 钢板拉伸气瓶较管制气瓶可减重10%~20%
- 铝内胆瓶（III型）重容比小于0.4，较II型瓶可减重50%

➤ CNG气瓶提高压力技术

- 20MPa提升至35MPa，可减重或增大续驶里程75%
- 气瓶底盘布置将使私家车推广应用更快

➤ LNG气瓶回收技术

- 排空回收目前通过加气站
- ANG技术也可用于LNG回收



钢板拉伸CNG气瓶



铝内胆CNG气瓶



CNG气瓶底盘布置（大众途安&奔驰B级车）



五、关键零部件技术趋势

安全报警系统（根据GB7258）

功能需求

最多支持8路

声光报警

报警声音

开启/关闭操作

停车报警

可数显电瓶电压

发动机舱温度分级报警

自诊断功能及故障显示

切断高压/低压电磁阀

自动/手动灭火

泄漏报警

其他功能

天然气泄漏传感器1
(发动机舱)



天然气泄漏传感器2
(行李箱)

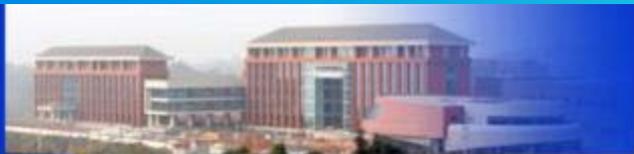


自动/手动灭火



天然气泄漏报警器

可采用气溶胶灭火材料!



谢谢!