

## 陈全世：我国新能源客车动力系统技术现状与发展

2018年1月12日，“第十二届影响中国客车业年度盘点活动”在北京新世界酒店举行，活动由中国客车网和土木工程学会城市公共交通分会联合主办，12日下午，在“2017-2018年度中国客车行业成果报告与发展高峰论坛”上，清华大学教授陈全世发表了主题为“大中型客车动力系统技术现状与发展情况”的演讲。



以下为演讲实录，经中国客车网整理，陈全世本人审阅，发布如下：

各位领导，各位专家，刚才听了几位的演讲，我很受启发，我把我自己的观点给大家讲一讲。我本身在清华大学汽车洗就是研究特种车的，在电动汽车之前我研究沙漠车及一些其他车辆。1988年开始研究电动汽车，到现在正好30周年，也做了一些事情，写了两本书，一本书《燃料电池电动汽车》，1999年我是第一个研发出燃料电池电动汽车样车的。1998年我在美国当访问学者，很多人推荐我做燃料电池汽车。后来“十五”863的时候我们做燃料电池大客车，对燃料电池车本身我做了许多研究。一开始八五做纯电动，九五做混合动力，十五、十

一五做燃料电池汽车，所以我写了一个教材——《先进电动汽车技术》。这本书是2007年出版的，我在2016年底就把第3版的稿子交了，答应我去年十一前出来，但是还没有出来。

我今天讲的是两个问题，一个是我国有关电动汽车的政策，另外是新能源汽车的技术路线，还有是大中型客车动力系统技术如何做，我有自己的想法。我们国家整个来说汽车发展比较快，但是我们离全球目标差的比较远，我们千人保有量是140辆，全球平均水平158辆，美国是一千人有800辆，韩国有376辆，我们汽车还是有很大发展空间。但是有些城市发展过分了，中东部城市挤的一塌糊涂。从西部去看，90%路上根本没有车，还不到10%，就是不均衡。

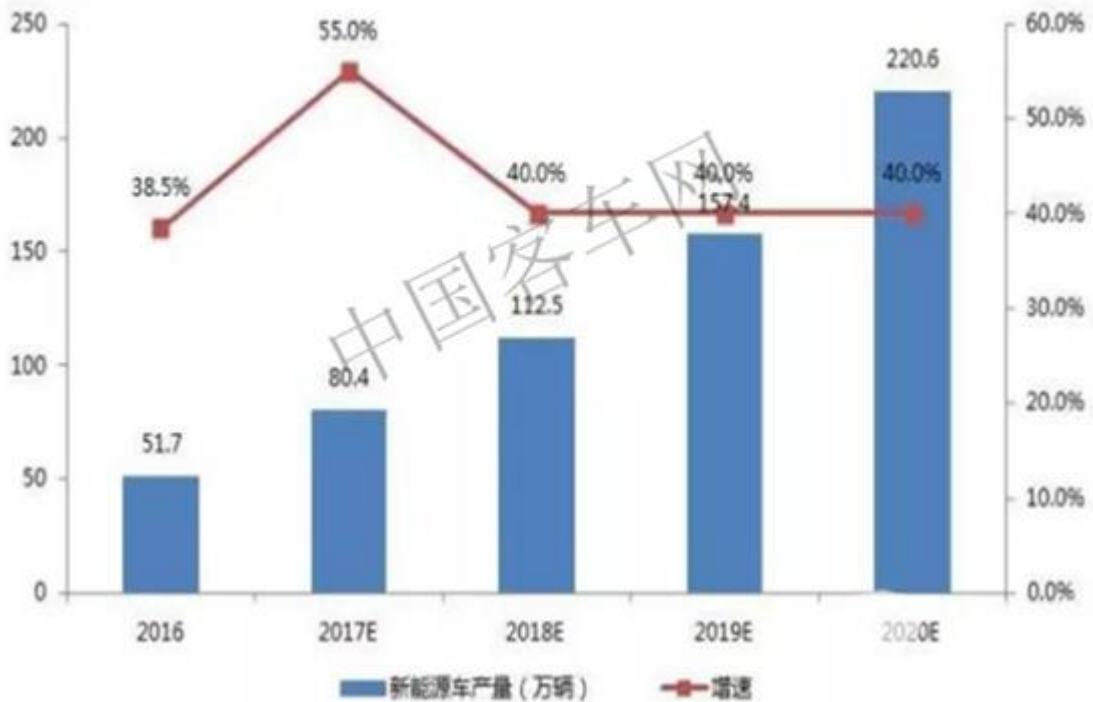
另外看一下能源的问题，有人说不讲政治，我觉得还是要讲政治的。我们去年进口石油达到64.4%，进口量对我们政治问题有很大的影响。从这张图来看这是雾霾的问题，机动车辆排放所占和比例哪个地方最多，深圳，为什么深圳最多，深圳没有别的工业，河北那么多污染严重的地方主要是工业，北京、上海占30%左右，汽车排放对大气环境还是有很大影响的。

你看奥运会的时候，APCE开会的时候，北京一但单双车号行驶，限制一半，单位的车基本不让出行，这样大气环境比较好。

另外看我们国家石油64.4%是进口的，三条道，一个是俄罗斯进来到大庆，一个是过霍尔果斯到新疆，但是大部分是中东，非洲、南美等地过来的，最重要过马六甲海峡，这个是非常危险的地方，对我们石油运输过程确实造成了很大的威胁，一但把马六甲海峡卡住，我们主要的石油运输通道就没有了。我们为什么在巴基斯坦建设港口，十年前新加坡说它建，就是卡中国，后来巴基斯坦要过来我们才建的。

我国现在进口石油，石油是我们的命脉，但是进口石油有这么多美军基地守着，尤其新加坡那儿必须过，日本、阿富汗那块都有，因此这是政治问题，因此我们国家制定了一个方针，多用电少用油。

# 新能源汽车的发展速度预测



汽车产业，去年发布了一个汽车中长期规划里边，特别讲了汽车产业是推动新一轮科技革命和产业变革的重要力量，是建设制造强国的重要支撑，是国民经济的重要支柱，汽车不是夕阳产业，是新的科技载体。我国新能源汽车和智能网联汽车有望抢占先机，成为发展的突破口。我们现在大而不强，我们缺乏核心技术，怎么大而强找突破口，因此国家把智能网联和新能源汽车作为先机。

来看一下我们的规划，新能源汽车和智能网联汽车在关键技术取得突破，力争经过十年持续努力迈入世界汽车强国行列。这是很重要的问题。我国对新能源汽车确实有很大的支持，我这儿归纳一下，第一条科技支持，大概一百多亿到一百五十亿左右，从十五一直到十三五。购车补贴四百亿左右，另外公交车的运行补贴，把油补换成电补等。另外对充电基础设施建设的补贴，国家补贴 20%建设费用，不算地皮。从科研、购车、运行、充电这是比较全面的。

再看一看我国新能源汽车技术路线，这张图大家都看过，我是参与了这个。1998 年京都议定书签订以后，中国和日本两国针对新能源汽车下一步如何发展

做了一个长远的规划，当时认为燃料电池技术比较成熟，把燃料电池画的很大，纯电动车画的很小，后来锂电池发展起来以后，现在纯电动车走在了前头，这个路线是中日两国制定的，欧洲有观察员参与，美国没有参加这个活动，因为美国没有在京都议定书上签字。

大家看一看这是不同技术路线的总能量效率，这是当时同步启动研究的，纯电动汽车是 27%-28%，柴油车是 17%，汽油车是 13%..... 等等，这是我们做了大量的工作。另外我们 2002 年左右接了国家的任务，我们国家 2030 年汽车计划发展到 3 亿辆，相对 2010 年我们的总油耗量不要增加，采取了什么路线，一个是过渡战略，就是节能汽车，另一个是转型战略，就是新能源汽车。这样十一五国家出台了节能与新能源汽车国家重大项目。发展高效内燃机、混合动力汽车、替代燃料，包括 LNG，甲醇、乙醇都属于节能汽车范畴。另外就是发展新能源汽车，包括插电式混合动力，纯电动以及燃料电池等等。

另外看一看世界上的问题，国际汽车产业的重大转身。去年在法兰克福汽车展，德国汽车发生了重大的变化，默克尔开幕式上讲德国汽车必须尽快重新赢得信任，媒体总结法兰克福汽车展，见证德国汽车“一场告别，一个开始，大象转身，势不可当”，和燃油车告别，电动化开始，大象转身，德国汽车确实非常厚重，德国汽车工业豪华车在世界占有非常重要的地位，另外德国几个汽车公司都在做电动化计划，电动化是其今后发展的最大亮点。他们发展的路线图是，汽油机/柴油机——生物汽油——燃料电池，我在巴塞罗那开国际电动汽车会的时候，和欧盟制造商协会负责人对话，他们就讲中国和日本人想象太丰富了，你现在搞的锂离子电池连手机都有问题，驱动汽车难度太大。我们德国人是比较实在的。为什么戴姆勒—奔驰公司要与比亚迪合作开发纯电动汽车，主要是电驱动系统的问题。宝马汽车选择了宁德时代的电池芯，中国在电动化方面做的还是比较好的，这一点德国是认可的，因此在中国选电池。

另外大众公司公布了自己的电动化计划，各国提出禁售燃油车的令。挪威 2025 年，德国和印度 2030 年，法国、英国 2040 年禁售燃油车。有人说这是不是炒作，又称说这是默克尔总理的竞选手段，根本无法实施。我们看行业老大，柯达照相倒下了，数字照相技术出来以后，它就不行了。手机原来诺基亚是行业龙头，他们认为手机就是手机打电话，认为搞智能手机是没有用的，后来乔布斯带领苹果公司搞智能手机以后，诺基亚倒下了。

去年 12 月 31 号，2017 年最后一天，丰田突然发力，它把所有高管进行调整，技术路线进行调整，原来重点发展混合动力，燃料电池为长远目标，突然调整目标设了一个大联盟，转向研究纯电动汽车。原来丰田公司混合动力已经成熟了，燃料电池还比较远，要不断研发，现在赶快发展纯电动了，成立很大的联盟把自己公司和子公司合并起来做这个事。

另外，看中国是否需要设定燃油车禁售时间表，有人说有问题，有的企业已经反映了，长安汽车宣布在 2025 年停止燃油汽车生产和销售，北汽集团宣布 2030 年停止燃油汽车生产和销售，在这之前吉利和沃尔沃在 2025 年左右停止燃油车销售，是不是炒作我们拭目以待，谁也不会算卦，谁也无法预计这个问题到底什么时间实现？这是值得我们思考的。

我自己的意见，有人说，陈老师你搞半辈子电动汽车，你的意见是什么，我认为中国需要设定燃油车禁售时间表，但是怎么做，中国地域这么大不能一刀切，我认为中国应该参考建设充电设施的目标要求，把国家分三个地区推广发展，到 2030 年推动北京、上海、天津等十个东部地区城市，2040 年是中部六个省，2050 年是其他省，世界就跟着走。先大城市，先是乘用车，城市客车，后是其他车，要给使用者和生产者有一个预计，大家有一个期望值，希望大家做好这个工作。



# 动力电池水平稳步提升

动力电池关键材料国产化进程加快，性能指标稳步提升，成本明显降低；单体、电池包、BMS等方面的安全技术研究全面推进。

- 性能：磷酸铁锂动力电池单体比能量最高达到150Wh/kg，三元正极材料能量型动力电池单体比能量最高达到230Wh/kg；
- 成本：电池原材料价格整体呈下降趋势，动力电池系统价格降至2元/瓦时以下；
- 产能：我国动力电池产能达到100GWh。
- 趋势：CATL、比亚迪、国轩等动力电池电芯生产企业通过自主生产、注资、合资等方式逐步向上游材料产业链延伸。

《节能与新能源技术路线图》动力电池技术路线



最后我讲一下大中型客车动力系统的技术，我们国家纯电动车发展还是比较快的，今年大概七八十万辆，公共充电桩也在发展。第二问题，新能源汽车发展的速度，估计2017年有55%的增长率，我估计差不多，去年50万辆，你增加了30万辆，增长50%以上了。按照这个趋势，2020年将达220万辆年产量，总量超过500万辆，达到整个汽车销售量的7-8%。

另外我们动力电池技术有了很大的进步，安全性在提高，产量也在进一步增加，成本也不断的降低，这是纯电动汽车提出有利的条件。另外大中型客车动力系统，纯电动系统有非常好的优势，尤其动力电池技术进步比较快。另外充电桩技术进一步加快，在运行过程中不排放有害气体，北京不给插电混合动力发牌照，这个问题引起了很大的争议，北京市是因为考虑雾霾和有害气体排放的问题，纯电动汽车排放量是最少了，因此作为优先发展目标。

另外充电设施进一步完善。下面看看混合动力系统有很多优点，有节油效果，技术相对成熟。但是缺点基本使用内燃机及化石燃料，尾气排放对城市大气有负

面影响，不符合国家以电代油等等。后面我讲一下燃料电池，国家有很多政策，2016 年全球氢燃料电池汽车销售为 2312 辆，与 2015 年相比增幅为 225%，主要有三款车型，丰田，本田和现代，其中大部分是租售的。发展燃料电池做得最好的，世界公认的是加拿大，但是加拿大现在有多少辆运行，大概不到 30 辆在运行。美国有多少辆，不到 50 辆，欧洲 40 几辆，只有中国量比较大。

刚才也讲了，本田是燃料电池做的最好的，可以实现全天零下 20 度无辅助低温启动，零下 46 度冷储存及停机自动保护，车用燃料电池电堆寿命达到 5 千小时。奥运会的时候，我们从德国进口了三台燃料电池大客车，到德国验收我去的，那时候合同写明燃料电池系统寿命 2200 小时，由制造商-加拿大巴拉德公司的两个专家负责全线维护和保养，完成 2200 小时以后就把电池拆走了，现在燃料电池没有了，就保证 2200 小时，这不是车辆运行时间，只要燃料电池一启动就开始算时间了，与车走多少里程没有关系。我们国家当时研发的燃料电池寿命大概是 700 小时左右，因此燃料电池寿命是很大的问题。

## 氢燃料电池的类型和特点

电池类型	工作温度	应用领域	优点	缺点
质子交换膜	60~100	运输业、便携式功率源	工作温度低、起动快、重量小、结构紧凑、	需用贵金属作催化剂、成本高、对燃料的纯度要求较高
碱性	90~100	军事、航空、航天	在碱性电解液中阴极反应较快、	需要除去燃料、氧化剂中的杂质气体，例如：CO <sub>2</sub>
磷酸型	175~200	电力工业、运输业	工作特性好、效率较高、对燃料的纯度要求不高	铂作催化剂、体积和重量较大、输出的电流、功率较低、
熔融碳酸盐	600~1000	电力工业	效率较高、成本较低、可使用多种材料作催化剂	有腐蚀性、较高的工作温度、加速燃料电池部件的损坏
固体氧化物	600~1000	电力工业	效率高、可用多种燃料、催化剂成本较低、便于维护	较高的工作温度、加速燃料电池部件的损坏

另外，大家看一看还有一个问题，就是燃料电池的类型，以及燃料电池的原理我就不讲了。燃料电池实际不是电池，是发电机构，里面没有电，先把氢气和空气通进去以后反应生成电，它确实是一个很好的动力源，效率比较高。现在一般系统效率达到 45%-50%，我们国家认定的有两个燃料电池测试机构，上海同济大学和清华大学，清华大学是测试客车用的，轿车用的是由上海同济大学测试。

我们国家对燃料电池补助确实比较高，燃料电池系统的大中型客车补贴 50 万，额定功率不低于驱动电机额定功率的 30%，且不小于 30W。燃料电池平均效率为 50%，每产生 1kWh 电能氢气消耗量为 59.5%(666.45L)，如果效率为 45%，需要氢气 66.12 克/千瓦时，折合 740.50L，标准状态下的氢气。氢气的价格 3.3 元/m<sup>3</sup>，每度电氢气费用 2.44 元，因此费用很高。不是一般的氢气可以用。用其它燃料，例如甲醇、天然气、煤气等重整出来的氢气，能够为燃料电池用的，代价是相当高的，国外现在燃料电池用的氢气基本上都是电解水用的。

燃料电池的价格，日本的数据每公斤一千日元（是折合 60 元人民币，10L 油）。燃料电池价格，东风特汽今年生产燃料电池物流车 300 台，（FC30 千瓦，国鸿公司提供的电堆），价格 1 万多块钱。另外一家机构，进口大概是 1.5 万元/kW，卖出去将近 2 万/kW，大家看看它的成本。

建加氢站更是天文数字，因为氢气是可燃性物质，压力又很大，需要周边很大的面积，而且要远离其它建筑。因此我觉得燃料电池技术并不成熟。现在国家对燃料电池是要进实验室，进行关键技术攻关，有很多问题，例如，交换膜、极板、催化剂、水管理，热管理等需要我们解决。我的结论是，我们目前主要以纯电动为主，混合动力车一部分可以用，燃料电池是小范围的示范。我在三年前燃料电池汽车应该重点进实验室进行技术攻关，没有完成之前不要大范围示范。我们 2008 年从德国进口的燃料电池大客车车，那是德国戴姆勒—奔驰公司和加拿大巴拉德公司共同研制的，负责在第一线运行技术支持的是清华大学燃料电池汽车研发的团队。因此希望大家对这个问题有所认识。

以上是我的观点，谢谢大家。