



编者按

经过 20 年左右的探索探索和快速发展，中国新能源汽车已经成为全球市场最大、技术引领的战略新兴产业。但随着技术的不断突破和国际巨头的纷纷入局，竞争必将更加激烈，前路依然充满艰辛。《水木清华》杂志与《汽车观察》杂志联合发起了对新能源汽车不同领域专家的采访，推出“新能源汽车的水木年华”系列报道，以期用专家的视角探究新能源汽车的发展历程和未来方向。

在争论中探索前行

——专访国家重点研发计划《新能源汽车》重点专项总体专家组组长、中科院院士欧阳明高

▶ 本刊记者 王正 李彦
《汽车观察》记者 刘小勇 谭晶宝

3月29日，《水木清华》杂志与《汽车观察》杂志一起走进清华大学汽车研究所，对中国科学院院士、清华大学教授欧阳明高进行了专访。作为从“十一五”开始连续三个五年计划的国家节能与新能源汽车科技重点专项首席专家，我们采访的重点自然落在了我国新能源汽车战略与技术路线的抉择上。听了欧阳院士娓娓道来的生动故事，记者感触最深的就是，中国新能源汽车的战略方向和技术路线的选择，不是靠什么先见之明、更不是靠拍脑袋决策的，而是经过了长期的技术探索、理性思考、实践验证和不断调整，才有了今天清晰的路线图。

首进国家规划：节能与新能源双重战略

上世纪八十年代，日本汽车大举进入美国市场，让美国汽车业在市场竞争中失利。为应对日本车厂的

欧阳明高

中国科学院院士，清华大学教授、博士生导师，清华大学汽车安全与节能国家重点实验室主任。



挑战，同时提高汽车的燃料效率，减少排放，1993年，美国克林顿政府与三大汽车制造商宣布进行一项推动美国汽车技术革命的合作计划，即新一代汽车合作伙伴计划（PNGV）。1997年，PNGV计划完成新一代汽车的技术选择，确定了轻质材料、混合动力、高性能引擎和燃料电池为主要技术方向。

在这样的国际大背景下，汽车产业竞争力、城市空气污染、石油安全等事关国家战略的重大话题在国内也逐渐受到各界关注。2001年，科技部组织召开了

“十五”国家 863 计划电动汽车重大专项可行性研究论证会，确立了“三纵三横”（燃料电池汽车、混合动力汽车、纯电动汽车三种整车技术为“三纵”，多能源动力总成系统、驱动电机、动力电池三种关键技术为“三横”）的研发布局。

欧阳明高介绍，2003 年至 2006 年期间，经过国家中长期科技规划能源领域和交通领域专家组以及行业专家的推动，国家正式提出了节能与新能源汽车的双重发展战略。低能耗与新能源汽车、氢能及燃料电池技术分别被纳入《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006-2020 年）》中的优先主题和前沿技术，中国新能源汽车首次进入到国家战略层面，并由此拉开了中国新能源汽车高速发展的序幕。

彼时，我国新能源汽车的发展方向还不明晰，各方持有不同的意见。“一汽、东风、长安等大国企都偏向于推动混合动力汽车，专家组部分人员则倾向于燃料电池，纯电动汽车反而不被看好。当时大家对纯电动汽车的信心不足，最主要的原因是当时的电池技术不好。所以专家组成立后的第一件事情就是到全国去考察电池企业。”欧阳明高回忆。

雾里看花：纯电驱动后来居上

“十一五”期间，我国的新能源汽车从打基础进入到示范推广阶段。2008 年的北京奥运会是中国电动汽车走向产业化应用的关键节点，也是全球第一次大规模的示范。

而在大洋彼岸，奥巴马于 2008 年成功当选美国总统，开始了对包括电动汽车在内的新能源产业的大力扶持。在奥巴马任期内，光伏企业、电动汽车企业和电池企业等获得了大量资金支持。

同样在 2008 年，特斯拉推出纯电动跑车 Roadster，最大续航里程可达到 393 公里。随后的 2010 年，日产 Leaf 问世，具备 200 公里的续航能力。当年这些高续航车型的出现让大家看到了纯电动汽车



欧阳明高与马斯克在一起

普及的可能性。在此期间，国内也相继出现了更好的动力电池，锰酸锂、磷酸铁锂电池开始被应用到汽车上。

但另一方面，国际上包括丰田在内的国际大型车企则采用了“燃油车 - 混合动力汽车 - 燃料电池汽车”的发展思路，美国三大汽车公司也已经放弃研发纯电动汽车。与燃料电池汽车所具有的超前概念和混合动力汽车已有的成功先例相比，纯电动汽车面临着进退两难的尴尬局面，也受到了社会舆论和行业专家的更多关注。

欧阳明高回忆：“在这一背景下，中国开始布局“十二五”的规划，当时电动轿车虽然续航里程还不长，国际上也对纯电动汽车还存在争议，但是我们研究之后



欧阳明高在 2021 年“中国电动汽车百人会论坛”上发言

认为，以纯电动汽车为突破口是非常好的产业化路径。”

2009 年 3 月，国家最高领导人第一次提出新能源汽车代表着汽车工业的发展方向，并于 8 月在北戴河召开了高层研讨会，会上首次提出了纯电驱动（包含纯电动、插电式混合动力和燃料电池动力）的技术转型战略，并在“十二五规划”中得到明确。当年的“两会”上，欧阳明高首次提出轿车要以纯电动为重点发展方向，以锂离子电池和纯电动汽车为技术平台突破口，带动新能源汽车全方位发展。经过多年的发展，中国锂离子电池出现了历史性的进步和革命性的突破，成为全球锂离子电池产业链最全、规模最大、水平最高的国家。

欧阳明高强调：“2014 年，习近平总书记在上海考察时提出，发展新能源汽车是汽车大国迈向汽车强国的必由之路。中国新能源汽车从此迎来最强推动力，市场急速拉升，中国新能源汽车产业化也从此进入规模化发展阶段。”

与时俱进：碳中和倒逼新思路

无论是在市场层面，还是在技术层面，中国新能源汽车的发展都走在了世界前列，但关于新能源汽车

技术路线和战略方向的争论从未停止。2016-2020 年期间，行业发生了多次关于新能源战略和技术路线的讨论，聚焦点是纯电动汽车和燃料电池汽车的技术路线之争。

欧阳明高指出，当时传统汽车巨头更喜欢混合动力和燃料电池汽车，外行业反而喜欢纯电动汽车，这与传统汽车的产业形态和文化都有一定的关系。混合动力和燃料电池汽车产业链与传统汽车基本一脉相

承，但是纯电动叠加智能化技术之后，与传统汽车完全离经叛道，这对传统汽车行业的人来说更难以接受。

“不仅如此，石油、化工、煤炭等传统行业都更青睐氢能，因为第二次能源革命以来的这些传统行业都能跟氢能挂上钩，但跟电池不相干。燃料电池是变革性的，传统行业都能逐渐过渡到氢能，但纯电动+智能化是真正的革命性的。”欧阳明高表示。

在不断的争论中，纯电动技术路线的弱点既在不断暴露，也在不断完善和解决。续航、寿命、安全、低温衰减等问题都有了大幅改善，纯电动汽车的成本优势也越来越突出。

近期，燃料电池汽车再次成为热点话题，特斯拉 CEO 埃隆·马斯克和大众集团 CEO 赫伯特·迪斯对燃料电池汽车的炮轰更是将其推向了舆论风口。而这一切的根源在于火力发电，尤其是煤炭发电仍是全球最主要的发电类型，单从化石能源的角度来看，无论是纯电动汽车还是氢燃料汽车都并非零排放，燃料电池与纯电动也难以争出高下，反倒是混合动力的转化效率更高。

“若从碳减排的角度出发，新能源汽车最终都将转向风电、太阳能等可再生能源，而风电和光伏发电

用于纯电动汽车效率最高、成本最低。反之，通过动力电池储能又可以解决光伏和风力发电的波动性问题。光伏和风电的发电成本虽然不高，储能成本却极高，目前没有比电动汽车更好的储能方式了。”欧阳明高表示。

但是，动力电池只能作为短周期储能装置，跨季节的长周期储能就需要利用氢能。“虽然氢能的转化效率不高，但效率的观点是对化石能源而言的，可再生能源不存在效率问题，只存在成本问题。当可再生能源发电的成本足够低的时候，氢能就成为了长周期、大规模储能的最佳载体。”欧阳明高认为。

2020年12月21日，国务院发布《新时代的中国能源发展》白皮书，清晰描绘了中国2060年前实现“碳中和”的路线图。在近期的中央经济会议上，“2030年碳达峰”和“2060年碳中和”被列为2021年八项重点任务之一。

对于交通部门来说，电动汽车加上完善的交通基础设施将是路面交通部门实现脱碳的重要途径。在“碳达峰”和“碳中和”的目标指导下，纯电动汽车和燃料电池之间的争论得到了很好的统一，我国新能源汽车也进一步坚定了战略方向。长期来看，二者最终将超出汽车行业本身，成为智慧能源网络中不可或缺的一部分，长期共存。

产业发展：技术创新空间巨大

以2001年确立“三纵三横”研发布局为始，我国新能源汽车发展已经历经整整20年。以2009年“十城千辆”为起点，我国新能源汽车的市场化推广也已超过十年，历经了以公共领域示范为主的萌芽期、财政补贴加大和销量快速增长的成长期以及政策驱动走向市场驱动、行业竞争加剧的调整期。如今，中国已成为全球最大的新能源汽车单一市场。

经过三次重要战略抉择和长达十年的市场化推广，我国新能源汽车的战略方向已经基本明确，市场

前景也已逐步明晰。但从技术发展角度来看，锂离子电池技术还有很大的改进空间，燃料电池技术经济性还有待提高。

欧阳明高认为，燃料电池技术的大规模应用将在十年之后，但其不会与纯电动技术在轿车领域构成竞争。“以70MPa的储氢瓶为例，储氢瓶、燃料电池发动机和辅助电池组成的动力系统比锂离子电池动力系统的体积要大得多，对于注重体积比能量的轿车而言无疑是最大的硬伤。从目前的全球共识来看，燃料电池技术将主要应用于长途重卡领域。此外，在轮船、火车、飞机等非汽车类交通上，燃料电池将拥有更高的市场占有率。”

据欧阳明高介绍，对于燃料电池汽车，当前的主要挑战是氢能技术落后于燃料电池发动机技术。传统氢能技术，如碱性电解水制氢、压缩制冷氢液化等效率偏低，成本偏高，只能作为近中期过渡性方法，液氢方案还涉及加氢站、液氢设备、液氢运输等各个环节，是一个浩大的工程，需要全链条科学技术的突破。另外，燃料电池的成本会快速降低，但储氢瓶因为需要使用高强度碳纤维材料，短期内并没有太大的降成本空间。

相比而言，已经取得阶段性突破的锂离子电池汽车将率先大规模应用。欧阳明高指出，如果与内燃机类比，现在的锂离子电池和燃料电池就像上世纪二三十年代的汽油机和柴油机，创新的空间还非常大。

“在电池安全方面，以前源头没有得到有效控制，只能通过后端的使用过程中去监测和控制。现在锂离子电池的安全机理已经研究清楚，以材料创新来改善电池的本征安全，利用全生命周期无损检测与预警提升主动安全，通过热管理技术保证电池不起火提升被动安全，三者结合将解决当前锂离子电池最大的安全问题。”欧阳明高表示。

此外，电池的使用寿命也已经可以通过补锂技术得到解决，冬季续航衰减问题也已经有了新的解决方案，可在冬季对电池进行快速升温（8℃/min），相



宁德时代新能源动力电池展

在市场层面，欧洲去年反超中国成为最大的新能源汽车市场，美国特斯拉的销量也远超同行，国产后的特斯拉对中国车企形成巨大挤压。随着国外政府对电动汽车的重视以及国际汽车巨头的持续发力，中国新能源车企正面临越来越激烈的市场竞争。

对于中国电动汽车所面临的挑战，欧阳明高并不担心：“我们不用畏惧国际巨头，市场强势、

比原有陶瓷片加热和掺杂技术方案，新技术拥有结构简单、成本低、可靠性高的优势。

纯电动汽车的另外一大痛点充电效率问题也已有新的突破。对于续航600km的车辆目前可以达到充电5分钟续航200km的水平，充电10分钟续航400km的快充技术也已经在量产的路上。新技术的推出将解决长途应急充电的问题，与日常家用慢充形成有效互补。“我们目前正在与国家电网合作在高速公路布置‘快充快换综合站’，推行‘卡车快换、轿车快充’的补能模式，利用综合站里的卡车备用电池为轿车充电。”欧阳明高指出，虽然行业比较看好全固态电池，但锂离子电池本身的巨大创新空间让其足以满足轿车的使用需求。至于未来是否会切换到全固态电池，目前还存在很大的不确定性。

国际竞争：中国的状态和趋势更好

在中国市场的影响下，汽车电动化热潮一浪高过一浪。大众、通用、福特等国际汽车巨头纷纷加速电动化转型，就连一直对纯电动汽车不够重视的丰田也将发展重点转向了电动汽车。

技术弱势的局面在电动汽车领域已经得到了根本性改变。中国当前的状态更好，趋势也更好。对于电池、电机、电控几大核心部件的技术掌握，中国也都已经达到了国际领先水平。尤其当电动汽车走向智能化以后，或许真能让中国汽车工业实现赶超。”

按照转型的趋势来看，汽车最主要的增值部分是数字化。欧阳明高认为，新一轮汽车产业变革的主导力量将是ICT行业，而非传统汽车行业。“将来能与美国竞争的或将只有美国，日本和德国更擅长做耐用消费品，在智能化和信息化方面并不占优。”

但在基础学科上，中国与领先国家的差距还很明显。日本引领着基础材料科学，美国掌握基础软件和芯片，德国掌握基础设备。中国制造从低端走向了中端，但高端制造还没有实现突破。“例如燃料电池产业中的质子交换膜、离子压缩机、液化设备等都掌握在国外手里，全固态电池与材料科学关系密切，中国也与国外存在差距。不过，中国的市场优势是最大亮点，当市场走在了前面，就会带动资本、技术流入中国。”欧阳明高指出。