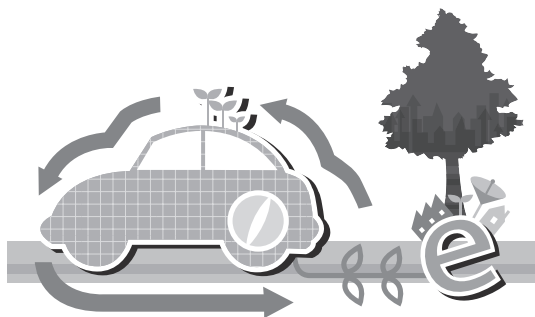


# 第 1 章

# 新能源汽车复合电源系统概述



## 1.1 国家新能源汽车发展战略和规划

在目前能源危机、环境污染日益严重的情况下，大力发展新能源汽车以减少对化石能源的依赖、降低大气污染已逐渐成为国际共识。我国能源和环境问题突出，正面临着能源紧缺和环境污染的双重压力。图 1-1 为我国 2008~2017 年石油消耗总量、进口量与对外依存度的相关数据。

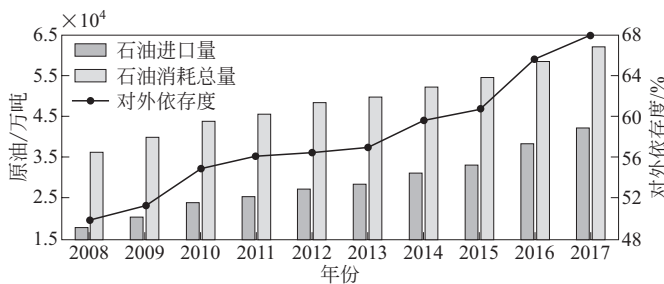


图1-1 我国2008~2017年石油消耗总量、进口量与对外依存度

从图 1-1 中可以看出，早在 2011 年我国的石油对外依存度就超过了 56%。2015 年对外依存度首次突破了 60%，这一数字在 2017 年达到了 68%，过高的石油对外依存度严重威胁着我国的能源安全。另一方面，近年来在我国部分地区频繁出现的雾霾天气不仅容易诱发急性呼吸道系统疾病，还易引发神经系统、心血管系统等方面的慢性疾病，严重威胁人民群众的身体健康。

在此背景下，越来越多的国家鼓励汽车制造商加大清洁能源汽车的投资和研发力度，向着清洁、高效和可持续发展的方向发展，并给予相应的政策扶持。电



电动汽车作为解决上述问题的最有潜力的选择，近几年来在工业和商用领域得到了长足的进步和发展。我国政府十分重视汽车产业的可持续发展，在新能源汽车领域给予高度重视和大力支持，早在“八五”期间就开始对电动汽车技术进行了攻关布局。

“十五”期间，国家 863 计划“电动汽车”重大科技专项确立了以混合动力汽车、纯电动汽车、燃料电池汽车为“三纵”，以多能源动力总成控制系统、驱动电机和动力电池为“三横”的电动汽车“三纵三横”研发布局，全面组织启动大规模电动汽车技术研发，为我国电动汽车发展奠定了技术基础。

“十一五”期间，我国组织实施了“节能与新能源汽车”重大项目，继续坚持“三纵三横”的总体布局，围绕“建立技术平台，突破关键技术，实现技术跨越”“建立研发平台，形成标准规范，营造创新环境”“建立产品平台，培育产业生态，促进产业发展”三大核心目标，全面展开电动汽车关键技术研究 and 大规模产业化技术攻关，并成功开展了“北京奥运”“上海世博”“深圳大运会”“十城千辆”等示范推广工程。

“十二五”期间，我国组织实施了“电动汽车科技发展”重大专项，紧紧围绕电动汽车科技创新与产业发展的三大需求，继续坚持“三纵三横”研发布局，更加突出“三横”共性关键技术，着力推进关键零部件技术、整车集成技术和公共平台技术的攻关与完善、深化与升级，形成“三横三纵三大平台”战略重点与任务布局。

2009 年 1 月，科技部、财政部、发改委和工信部共同启动“十城千辆节能与新能源汽车示范推广应用工程”，通过提供财政补贴，计划用 3 年左右的时间，每年发展 10 个城市，每个城市推出 1000 辆新能源汽车开展示范运行，涉及这些大中城市的公交、出租、公务、市政、邮政等领域，力争使全国新能源汽车的运营规模到 2012 年占到汽车市场份额的 10%。

2010 年 10 月，国务院印发《关于加快培育和发展战略性新兴产业的决定》(国发〔2010〕32 号)，将新能源汽车列为七大战略性新兴产业之一，着力突破动力电池、驱动电机和电子控制领域关键核心技术，推进插电式混合动力汽车、纯电动汽车推广应用和产业化。

2012 年 6 月，国务院印发《节能与新能源汽车产业发展规划(2012~2020 年)》(国发〔2012〕22 号)，以纯电驱动为新能源汽车发展和汽车工业转型的主要战略取向，重点推进纯电动汽车和插电式混合动力汽车产业化，提

升我国汽车产业整体技术水平。

2014 年 5 月，习近平总书记在上海汽车集团考察时强调“发展新能源汽车是我国从汽车大国迈向汽车强国的必由之路”。

2015 年 2 月，国家科技部发布《国家重点研发计划新能源汽车重点专项实施方案（征求意见稿）》，将实施新能源汽车“纯电驱动”技术转型战略，完善电动汽车“三纵三横”技术体系和新能源汽车研发体系，升级新能源汽车动力系统技术平台作为总体目标。明确表示到 2020 年，建立起完善的电动汽车动力系统科技体系和产业链。

2015 年 5 月，国务院在发布的《中国制造 2025》纲要中明确指出，继续支持电动汽车、燃料电池汽车发展，掌握汽车低碳化、信息化、智能化核心技术，提升动力电池、驱动电机、高效内燃机、先进变速器、轻量化材料、智能控制等核心技术的工程化和产业化能力，形成从关键零部件到整车的完整工业体系和创新体系，推动自主品牌节能与新能源汽车同国际先进水平接轨。

2016 年 11 月，国务院印发了《“十三五”国家战略性新兴产业发展规划的通知》（国发〔2016〕67 号），明确提出推动新能源汽车产业快速壮大，构建可持续发展新模式，全面提升电动汽车整车品质与性能，建设具有全球竞争力的动力电池产业链，系统推进燃料电池汽车研发与产业化，加速构建规范便捷的基础设施体系。

2017 年 1 月，在国家发改委会同科技部、工信部、财政部等有关部门制定的《战略性新兴产业重点产品和服务指导目录》（2016 版）中，将新能源产品、充电及换电设施、生产测试设备等研究领域纳入重点发展规划。

2017 年 6 月，北京市科学技术委员会表示，北京 2022 年冬奥会的所有场馆区域将实现新能源汽车全覆盖。这一措施将极大地推进新能源汽车的快速发展，带动动力电池、超级电容、燃料电池等车用电源系统技术的快速推广，同时对电源系统的性能也提出了更高的要求。

### 1.1.1 动力电池技术现状

动力电池是新能源汽车电源系统的核心部件之一，目前广泛使用的车载动力电池主要有铅酸电池、镍镉（Ni-Cd）电池、镍氢（Ni-MH）电池、锂离子电池等。其中锂离子动力电池作为新型可充放电电池，具有能量密度高、单体



电压高、自放电率低、无记忆效应、循环特性好、充电效率高、工作温度范围宽、循环寿命长等优点。目前，锂离子动力电池成为新能源汽车应用中最有潜力的选择之一。

根据正极材料类型不同，锂离子动力电池可分为三元动力电池（ $\text{LiNiMnCoO}_2$ ，NCM）、镍钴铝酸锂动力电池（ $\text{LiNiCoAlO}_2$ ，NCA）、磷酸铁锂动力电池（ $\text{LiFePO}_4$ ）和锰酸锂动力电池（ $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ ）等。其中，依据镍、钴、锰 3 种元素的摩尔比将 NCM 动力电池再分为（NCM）<sub>333</sub> 和（NCM）<sub>523</sub> 两种。不同材料类型的锂离子电池特性参数如表 1-1 所示。

表1-1 不同材料类型的锂离子电池特性参数

项目	三元动力电池		镍钴铝酸锂 (NCA)	磷酸铁锂 (LFP)	锰酸锂 (LMO)
	(NCM) <sub>333</sub>	(NCM) <sub>523</sub>			
电压平台/V	3.6~3.7	3.6~3.7	3.6~3.7	3.2~3.3	3.7~3.8
电芯比能量 (W·h/kg)	170	210	260	150	140
系统比能量 (W·h/kg)	≥ 110	≥ 130	≥ 150	≥ 110	≥ 100
正极材料	$\text{LiNi}_x\text{Mn}_y\text{Co}_{(1-x-y)}\text{O}_2$	$\text{LiNi}_x\text{Mn}_y\text{Co}_{(1-x-y)}\text{O}_2$	$\text{LiNi}_{0.85}\text{Co}_{0.1}\text{Al}_{(0.05)}\text{O}_2$	$\text{LiFePO}_4$	$\text{LiMn}_2\text{PO}_4$
工作温度	放电： -30~55℃ 充电： -20~55℃	放电： -30~55℃ 充电： -20~55℃	放电： -30~55℃ 充电：—	放电： -30~60℃ 充电：0~60℃	放电： -30~50℃ 充电： -15~50℃
典型寿命 /cycle	2500	2000	600（初代特斯拉）	4000	1500
实际容量/ 理论容量 (mA·h/g)	140/278	160/278	180/274	140/168	100/145
产业化程度	已经产业化	已经产业化	国内无批量供应商	已经产业化	已经产业化
应用企业	宝马、北汽、 大众	宝马、北汽等	特斯拉	比亚迪、北汽、 上汽	日产

续表

项目	三元动力电池		镍钴铝 酸锂 (NCA)	磷酸铁锂 (LFP)	锰酸锂 (LMO)
	(NCM) <sub>333</sub>	(NCM) <sub>523</sub>			
优势	高比能量, 长寿命	高比能量	高比能量	安全性高, 成本低, 寿命 长	安全性高, 成本低
劣势	安全性中, 钴缺乏	安全性差, 钴缺乏	难度高, 钴缺 乏, 安全性差	已达比能量极 限	已达比能量极 限

然而, 成本和安全性制约着锂离子动力电池在新能源汽车领域的大范围推广应用。对于电动汽车而言, 锂离子动力电池的能量密度仍然较低且价格偏高(目前锂离子动力电池市场价格约为每度电 1200 元), 续航里程较短。钴、镍资源有限导致钴酸锂动力电池、镍酸锂动力电池的成本相对较高, 发展前景不乐观。而铁、锰等元素在地壳内含量丰富, 开采冶炼技术成熟, 锰酸锂动力电池和磷酸铁锂动力电池具有低成本优势。另一方面, 动力电池的安全性是电动车发展过程中首先要考虑和解决的问题, 以热失控为特征的锂离子电池系统的安全性事故时有发生, 困扰着电动汽车的发展。因此, 相对于传统燃油汽车, 目前电动汽车竞争力不足。

目前, 动力电池技术的研究主要聚焦于提升比能量和比功率、控制成本、延长使用寿命、提高安全性等, 具体包括优化现有的电池材料体系、优化电极体系、提升制造水平、研发新型的动力电池隔膜和电解液等。为进一步支撑新能源汽车的发展, 需要持续提升动力电池单体能量密度, 降低系统成本, 目前针对纯电动汽车(Battery Electric Vehicles, BEV)和插电式混合动力汽车(Plug-in Hybrid Electric Vehicle, PHEV)车载动力电池, 我国政府制定了具体的技术发展目标, 如表 1-2 所示。

表 1-2 我国动力电池技术的未来发展目标

年份	单体能量密度/(W·h/kg)			系统成本/(元/W·h)		
	2020 年	2025 年	2030 年	2020 年	2025 年	2030 年
BEV	350	400	500	1	0.9	0.8
PHEV	200	250	300	1.5	1.3	1.1



根据 2018 年的数据，我国相关动力电池制造厂家的锂离子动力电池能量密度统计如下。

① 宁德时代 (CATL)：采用三元 NCM 作为电芯材料，能量密度最高可以达到  $240\text{W} \cdot \text{h/kg}$ 。

② 比亚迪：在磷酸铁锂动力电池技术方面，目前生产的动力电池能量密度为  $150\text{W} \cdot \text{h/kg}$ ，短期内或提升至  $160\text{W} \cdot \text{h/kg}$ ，公司预计到 2020 年将动力电池能量密度提升到  $200\text{W} \cdot \text{h/kg}$ 。在三元动力电池技术方面，目前能量密度达到了  $200\text{W} \cdot \text{h/kg}$ ，公司目标是 2020 年动力电池比能量达到  $300\text{W} \cdot \text{h/kg}$ 。

③ 沃特玛：目前生产的 32650 圆柱形磷酸铁锂动力电池和三元动力电池的能量密度分别为  $145\text{W} \cdot \text{h/kg}$  和  $200\text{W} \cdot \text{h/kg}$ ，预计到 2020 年，能量密度将分别提升至  $200\text{W} \cdot \text{h/kg}$  和  $300\text{W} \cdot \text{h/kg}$ 。

④ 亿纬锂能：2.75A·h 的 18650 三元动力电池能量密度目前可达  $225\text{W} \cdot \text{h/kg}$ 。

⑤ 国能电池：磷酸铁锂动力电池单体能量密度为  $160\text{W} \cdot \text{h/kg}$ ，对应动力电池模组的能量密度约为  $125\text{W} \cdot \text{h/kg}$ ；三元动力电池能量密度后续将突破  $240\text{W} \cdot \text{h/kg}$ 。

⑥ 捷威动力：已经量产的三元动力电池单体能量密度达  $210\text{W} \cdot \text{h/kg}$ 。在保证动力电池安全性的基础上，预计 2020 年动力电池单体能量密度可达  $300\text{W} \cdot \text{h/kg}$ ，动力电池成组后可达  $220\text{W} \cdot \text{h/kg}$ ；钛酸锂动力电池单体能量密度可达  $110\text{W} \cdot \text{h/kg}$ 。

⑦ 智慧能源：三元动力电池单体能量密度可达  $220\text{W} \cdot \text{h/kg}$ ，成组后的能量密度达到  $140\text{W} \cdot \text{h/kg}$ 。

⑧ 比克电池：目前比克 18650 类型的 3.0A·h 高能芯动力电池能量密度高达  $250\text{W} \cdot \text{h/kg}$ ，后续还将进一步提升至  $300\text{W} \cdot \text{h/kg}$ 。

### 1.1.2 超级电容技术现状

超级电容又称电化学电容、双电层电容器、黄金电容、法拉电容，由于其静容量比普通电容高 3~9 个数量级，达到千法拉或万法拉而得名。德国物理学家亥姆霍兹在 19 世纪末发现，在电势的作用下，电极和电解液之间的固液双层结构间可以存储电荷，根据这一发现研发了利用电解质极化以静电荷方式储存能量的超级电容。超级电容的充放电属于物理过程，具有循环次数高、充