

第二次能源和电子革命 及其在陆海空天潜领域中的应用(下)

清华大学教授 新概念汽车研究院副院长
中国电源学会电气化交通专委会主任 李永东

编者按:值此新年,回望过去,电力电子领域经历了无数变革与创新,从家用电器到轨道交通,从陆上储能到海上发电,每一项技术突破都见证了行业的共同成长与努力。第二次能源和电子革命及其在陆海空天潜领域中都拥有着优异的应用。

以国产化、轻量化、高效能为导向,以新型宽禁带半导体材料、永磁同步高速电机、高效电传动系统为支撑,高速安全、绿色高效、节能环保依然是轨道交通行业发展的主要目标;能源革命和智能网联为汽车产业创新发展注入了新动力;大力推进和发展我国船舶海工装备的先进制造、智能制造的关键技术,大力推进制造工艺、制造质量的提升,形成我国先进的船舶电气装备的制造能力。

在此背景下,清华大学电机系李永东教授的报告《第二次能源和电子革命及其在陆海空天潜领域中的应用》重磅出炉。本报告着重阐述第二次能源/电力和电子革命的现状与发展趋势,站在创新高度解读了第二次能源和电子革命,特别是在陆海空天潜和电驱动领域中的应用以及可持续发展,提出了我国电力电子功率变换和变频产业技术发展的新需求和新使命。

李永东现任清华大学电机系教授,博士生导师,先进电能变换与电气化交通团队负责人,清华大学新概念技术汽车研究院副院长。IEEE IAS Beijing Chapter Chair, IET and CES Fellow, 中国电工技术学会会士兼电力电子分会副理事长,中国电源学会常务理事兼电气化交通专委会主任,中国自动化学会电气自动化专委会副主任,荣获俄罗斯自然科学院外籍院士及俄罗斯工程院外籍院士。他长期致力于高性能、大容量交流电机控制系统和应用;交流电机矢量控制和直接转矩控制理论及其数字化实现;高压大容量变换器及其在节能、高铁牵引和船舶推进等电气化交通系统中的应用。

报告分三期(2024 年 1 期、2 期和 3 期)先后刊登本刊特约《变频器世界》编委会主任李永东教授的文章。敬请期待!

【中图分类号】TM921

【文献标识码】B

【文章编号】1561-0330(2024)01-0057-05

目录

- 1 第一次能源/电力和电子革命回顾
- 2 第二次能源/电力和电子革命现状与趋势
- 3 在陆上能源和电驱动领域中的应用
- 4 在海/潜能源和电驱动领域中的应用
- 5 在空/天能源和电驱动领域中的应用
- 6 结论和展望

4. 在海 / 潜能源和电驱动领域中的应用

4.1 在海 / 潜电驱动领域中的应用: 船舰电力推进

• 先进电机变频调速技术和智能化技术使全电力船舰成为可能

• 随着电力电子技术发展, 电机变频调速技术取得重大进展, 和新型电机技术一起使船舰电力推进技术得以快速发展, 船舰动力逐步从机械化迈向电气化。

• 结合自动化、信息化的需求, 采用智能化技术的全电力船舰进入探索阶段。

• 推进电机取消齿轮传动, 向低速直驱、高转矩密度、低噪声发展

• 推进变频器向高电压、大功率、轻量化、智能化方向发展

• AFE 电力系统进一步提高了船舰电力推进系统的功率密度

• 船舰电力推进系统开始从交流配电系统向直流配电系统演变

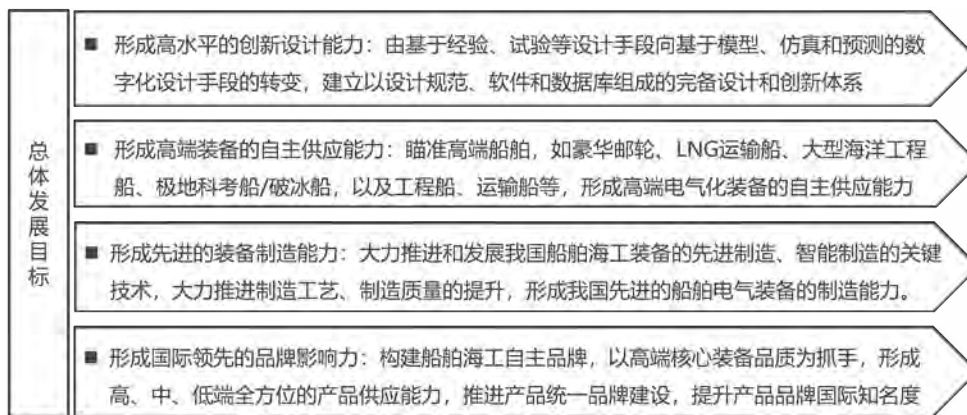
• 锂电池、燃料电池等在船舰电力推进系统中广泛应用成为可能



36 MW 舰船直驱永磁推进电机

4.2 船舰推进电气化的发展现状及路线图

4.2.1 船舰推进电气化未来发展目标



4.2.2 船舰推进电气化总体规划和技术突破路线图

中压大容量推进系统研究: 开展中压船舶电网系统拓扑结构、系统保护及稳定性研究, 特别关注电力电子装备高占比化的船舶电力系统的稳定性研究、电磁兼容性研究、能量匹配性和综合管理技术研究。

新能源动力系统研究: 开展不同船型的新能源电力推进系统拓扑结构、系统配置及保护、能量综合管理等技术研究, 形成新能源船舶设计标准、设计规范、检验规范等。

电力推进系统智能化研究: 开展故障诊断及状态评估技术、环境态势感知技术、大数据分析处理技术在电力推进系统中的应用研究, 开展智能能效管理、智能航行技术研究, 提高电力推进船舶智能化水平。



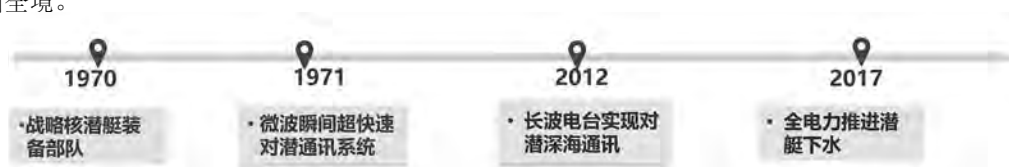
4.3 在海 / 潜电驱动领域中的应用:核潜艇

• 舰艇推进电气化未来发展目标

核潜艇动力:第一种为蒸汽推动:“核反应堆(锅炉)-汽轮机-减速机-螺旋桨”,这种推进方式作为主动力用得较多,目前俄、英、美三国都用此方式。

第二种为电力推动:“核反应堆(锅炉)-汽轮机-交流发电机-变流机一直流电动机-螺旋桨”,这种方式只有法国用,法国全部核潜艇都是此种电力推动方式(没有减速器的噪声)。而俄、英、美核潜艇只以电力推动方式作为备用动力。

核动力潜艇具有自给能力强、突袭威力大、航程远、能在水下长时间隐蔽活动等特点,是现代海军的重要装备。是国家抵抗核打击、进行核报复的最后手段(连俄罗斯也不卖给我们)。2012年中国的094战略核潜艇成功的试射了一枚弹道导弹巨浪-3,射程在1.8万至2万公里,可以覆盖美国全境。



5. 在空 / 天能源和电驱动领域中的应用

5.1 在空 / 天能源领域中的应用:多电飞机

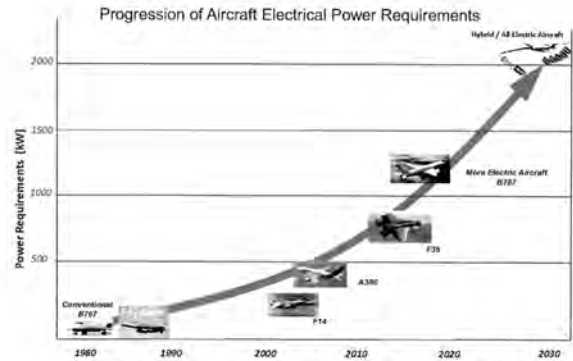
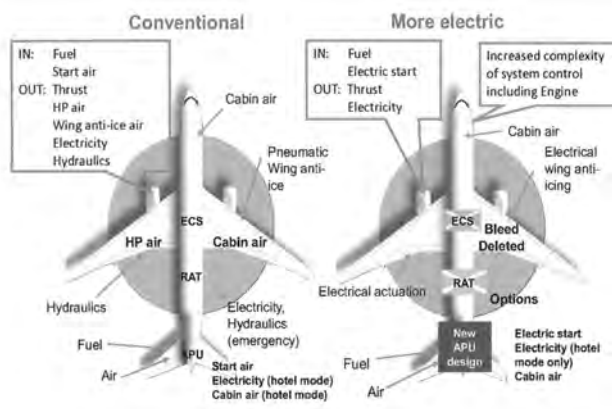
• 多电技术的核心是:系统化的飞机设计理念和集成化的技术思想

• 多电技术将飞机的发电、配电和用电集成在一个统一的系统内,实现发电、配电和用电系统的统一规划、统一管理和集中控制的飞机。

• 电源系统是核心,包括大功率发电机、控制器以及电能变换装置

• 发电机同时具备起动功能,承担发动机起动任务。电力电子控制器除调压控制之外,另配置了高功率密度起动驱动器完成发动机起动任务

• 多电飞机电源系统必然向大功率方向发展。恒速恒频或变速恒频交流电源效率较低,不合适大容量供电系统使用场合



5.2 多电飞机及航空电源的发展现状及路线图

5.2.1 多电飞机及航空电源未来发展目标

多电飞机电源系统必然向大功率方向发展。恒速恒频或变速恒频交流电源效率较低，不合适大容量供电系统使用场合。高压直流系统和变频交流系统分别是飞机供电系统的两个重点发展方向。

采用宽禁带功率半导体器件大幅降低功率损耗，提高电机控制器运行效率，提高系统可用性。

提高电机控制器的数字化、集成化和通用化水平。同时，系统软件形成层次化、模块化和平台化，实现软件架构可移植、可扩展，并逐步形成行业自主软件架构。

发展目标

电源系统

变频交流系统、高压直流系统是未来系统架构趋势，向大容量、高功率密度方向发展。起动发电机探索三级式结构、异步电机以及开关磁阻电机结构，逐步实现起动发电机国产化。

电机控制器

加大电机控制器研发力度，形成多功能复用控制器设计思路，完成发动机起动、电环控以及机载各种电动场景的一体化设计，提高电机控制器功率密度，实现核心部件国产化。

二次电源

实现电能变换各电压体制之间的电能变换。提高电源效率及功率密度。提升设备可靠性。实现核心部件国产化。



多电飞机及航空电源技术发展路线图

5.2.2 多电机及航空电源总体规划和技术突破路线图

• 多电机电源系统研究：多电机电源系统在功率上需匹配日益增长的机载电能需求，实现单机电能输出功率翻倍，由 250kW 上升至 500kW。开展大功率起动发电机设计与研制，研究大功率起动发电机设计，大功率液冷散热，电源系统集成等技术。

• 多电机电机控制器研究：多电机电机控制器实现起动发电功能验证。采用 SiC 等宽禁带开关器件实现控制器效率的提升，提升功率器件及 IC 控制芯片的国产化率。

多电机二次电源研究：实现多种电能体制间的电能变换，实现变频交流电源系统内二次电源的上机使用，并逐步向高压直流系统内二次电能变换过渡，形成以高功率密度、高效率为特征的二次电源体系。

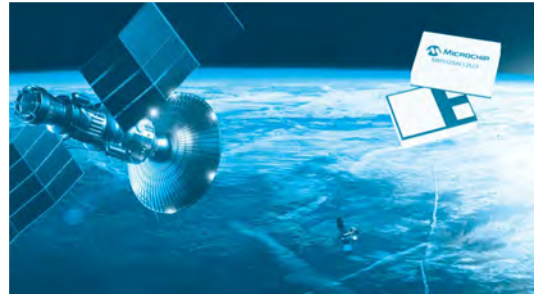
5.3 在空 / 天电驱动领域中的应用：卫星电源、电推进和发射

卫星电源一般采用太阳能板供电，直接关系到系统的可靠运行。可采用长寿命、高可靠、光电转换效率大于 30% 的三结砷化镓太阳电池板。

目前，火箭的发射也在向电磁化发展，其瞬时功率达几个 GW，不用第一和第二级火箭燃料后，可大大减轻负荷和节省燃料。

此外，原来的卫星星座没有推进系统，或者采用化学发动机。近年来，电推进技术的不断成熟，其推力大、节省推进剂、体积小等特点十分符合卫星星座的运行特点，因此，在近几年在建的卫星星座得到应用。

星链星座作为目前在轨数量最多的互联网星座，使用了氙工质的霍尔电推进系统，外形与 Apollo Fusion 公司发布的 400W 级霍尔电推进较为相似，且 Apollo Fusion 公司电推进系统负责人有在 SpaceX 任职经历。



6. 结论和展望

(1) 第一次电子革命是微电子技术 => 信息处理，微电子技术带来的 VLSI 技术产生了计算机，带来信息 (IT) 产业大爆炸 (摩尔定律)。

(2) 第二次电子革命核心技术电力电子是能量处理技术，可以实现电力能源的第二次革命 (新能源和发输电的节能) 和传统产业的改造。

(3) 第二次电子革命带来电力能源的第二次革命，其应用无所不在！电力电子技术具有弱电控制强电的特征，其核心就是电力电子功率变换和交流电机变频传动，广泛应用于能源和新能源、节能减排、交通、冶金、石油、化工、机械加工、家电、国防和军工等领域，典型的高端产品有智能制造、自动化生产车间中的工业机器人、数控机床 ...

我国电力电子功率变换和变频产业发展的新需求和新使命

