

新型电力系统需要电力电子技术

李立涅

2022. 06. 24 昌吉

1、直流输电与电力电子技术的作用

2、新型电力系统需要电力电子技术

3、工作和展望

--直流输电和电力电子技术要适应新型电力系统的需求

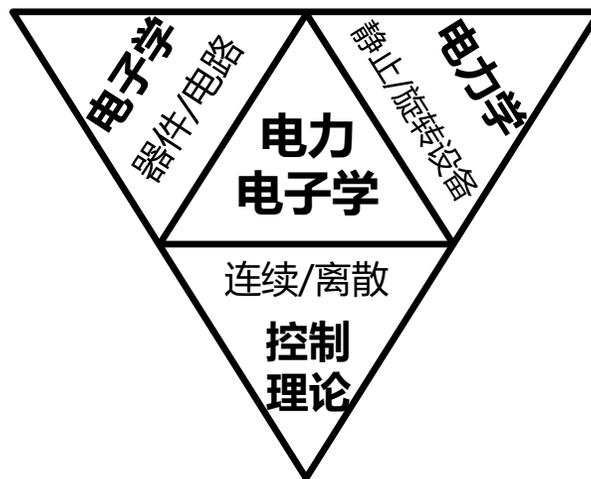
1、直流输电与电力电子技术的作用

1、直流输电与电力电子技术的作用

电力电子学科的定义：

电力电子学是由电气工程三大学科（**电力学、电子学和控制理论**）交叉形成的。

—Dr. William E Newell 1973年IEEE PESC' 73

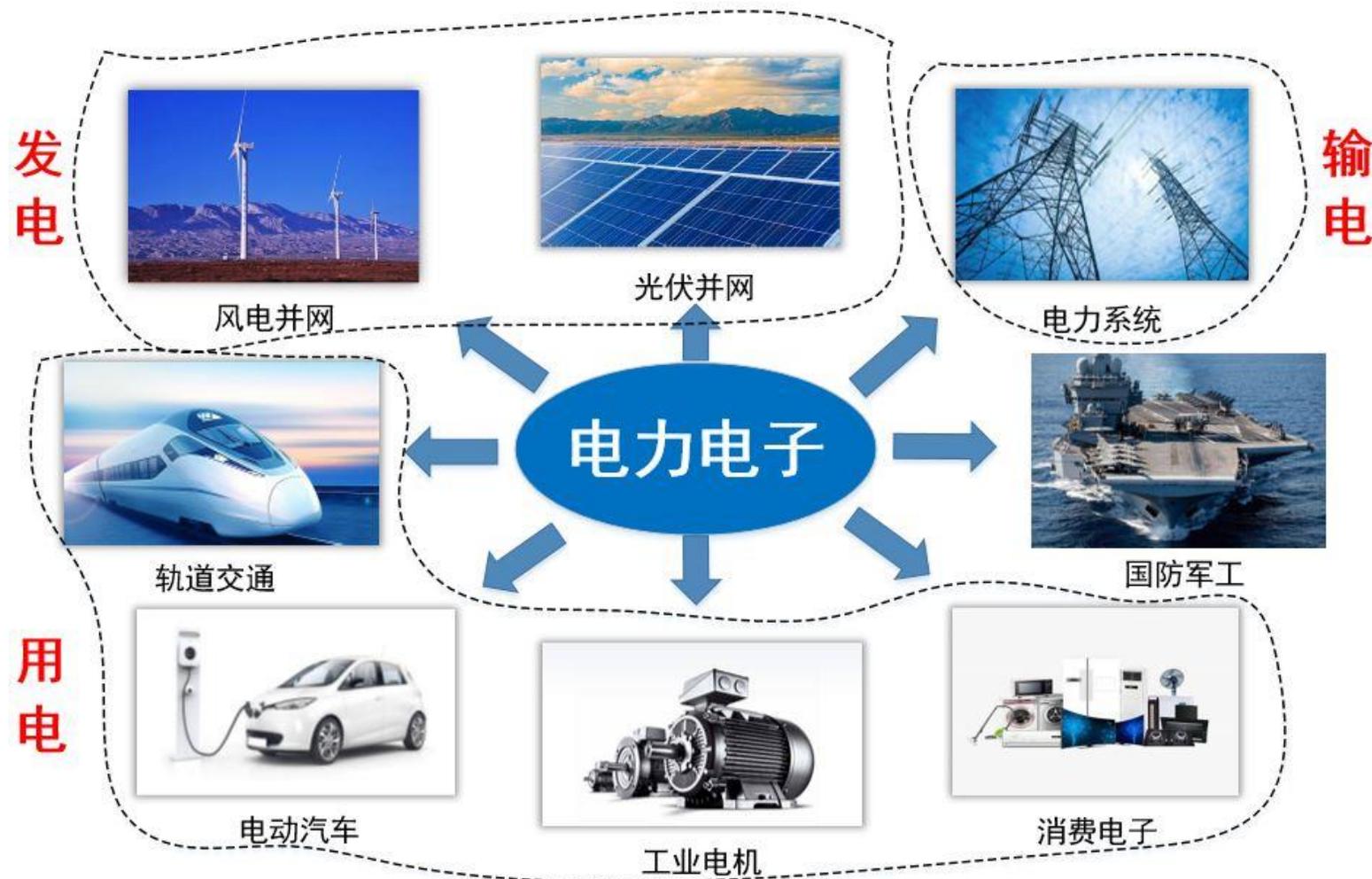


电力电子技术：

电力电子技术就是**使用电力电子器件对电能进行变换和控制**的技术。是**能源变换和信息控制**的结合，是现代能源变换的关键技术。

1、直流输电与电力电子技术的作用

电力电子技术融入电能变换的各个环节，成为**现代能源变换的核心**，对于构建新型电力系统，实现双碳目标意义重大。



电力电子技术成为能源变换的核心

发电侧

新型电力系统将接入大规模风光新能源，**电力电子变换器是新能源发电并网的关键环节**，它的性能将直接影响电力系统的高效、安全、稳定运行。

输电侧

换流阀是直流输电系统的“心脏”，其**核心是电力电子器件**。直流输电技术的发展与电力电子技术密不可分。

用电侧

电力电子技术在用电侧的应用非常广泛。**工业电机**驱动所用的变频调速器，**轨道交通**的电力牵引，**变频家用电器**（空调、冰箱）等等，随处可见。

其它

国防军工领域也有电力电子技术的应用，如航空母舰的**电磁弹射**，用于军事国防领域的**特种电源**等等。

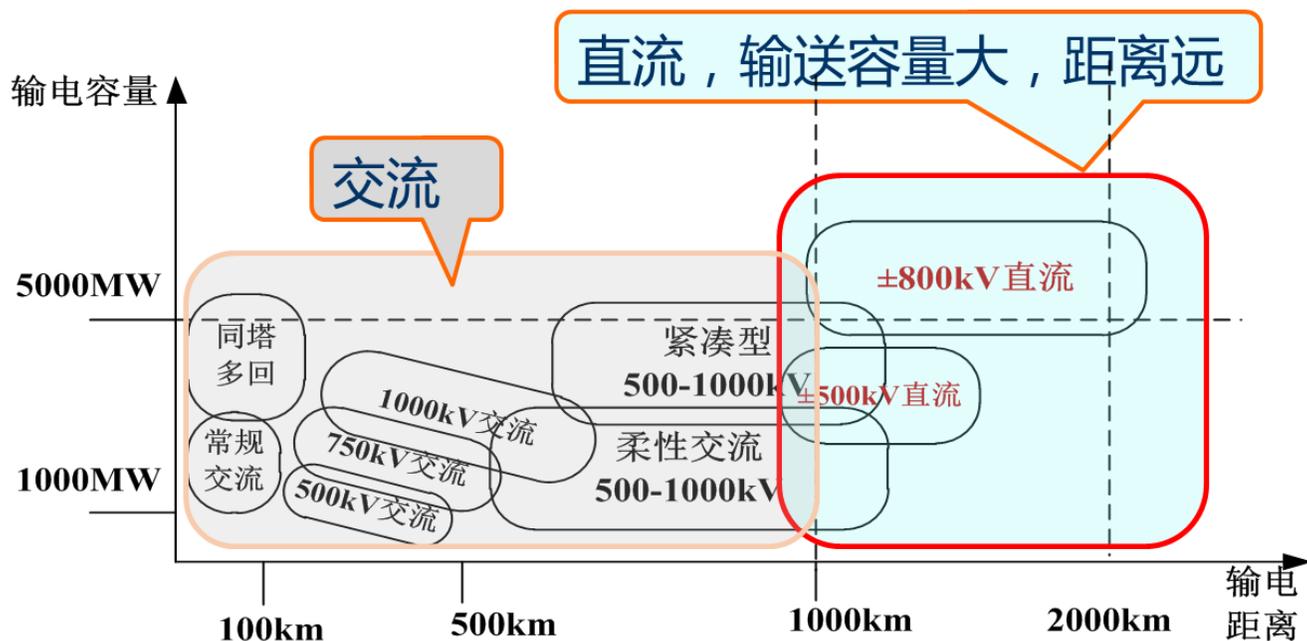
直流输电技术的发展与电力电子技术的进步密不可分



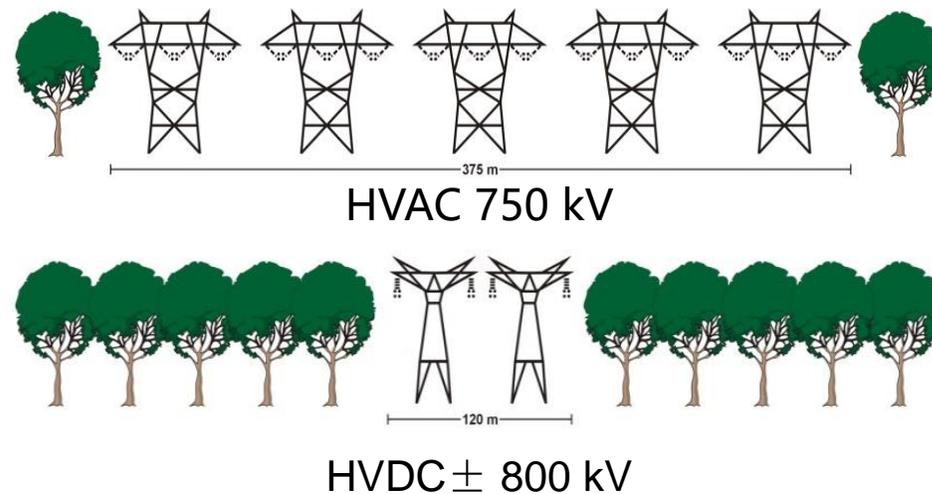
1、直流输电与电力电子技术的作用

直流输电的优势：

- 高压直流输电输送容量大，可达300万千瓦 - 1200万千瓦；送电距离远，可达3000公里；输电通道走廊窄，单位走廊的送电功率是交流的4倍，节省宝贵土地资源。
- 被广泛的应用于远距离大容量输电、交流系统的非同步联网。



交直流输送容量和距离对比



交直流线路走廊对比

1、直流输电与电力电子技术的作用

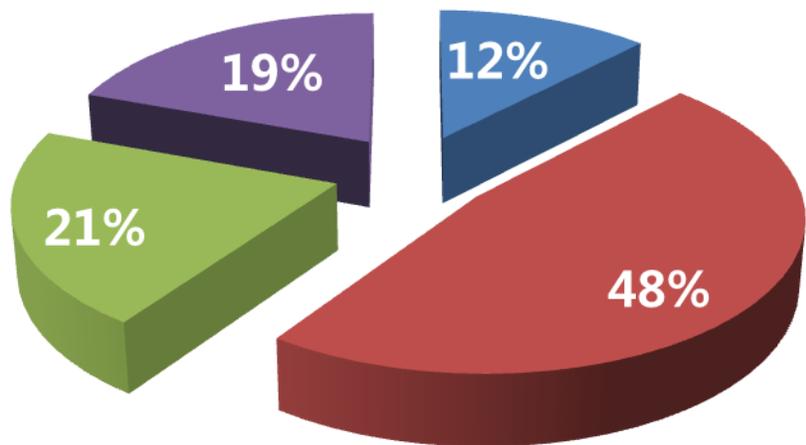
- 直流输电技术能够实现**电能的大容量、远距离输送**，随着电压等级提高到超高压（ $\pm 500\text{kV}$ ）、特高压（ $\pm 800\text{kV}$ ）等级，其优势更加明显。
- 高压直流输电技术**保证了我国西电东送战略的实施**，将西北清洁电力源源不断输送到长三角、珠三角等东部负荷中心，有力促进了我国西部和北部水电、风电、太阳能等清洁能源的大规模集约开发和大范围消纳，为实现双碳目标奠定了坚实基础。



1、直流输电与电力电子技术的作用

直流输电技术在全球范围得到广泛应用，我国是世界上直流输电工程数量最多、输送线路最长、容量最大的国家。

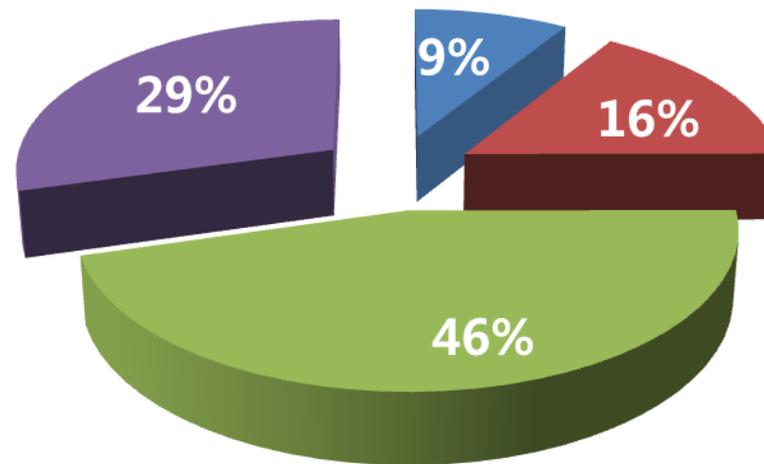
全世界投运直流输电工程总数



■ 北美 ■ 欧洲 ■ 中国 ■ 其它

总计超过150条，我国占20%

全世界投运直流输电变电容量



■ 北美 ■ 欧洲 ■ 中国 ■ 其它

总计超过400GW，我国占近50%

1、直流输电与电力电子技术的作用

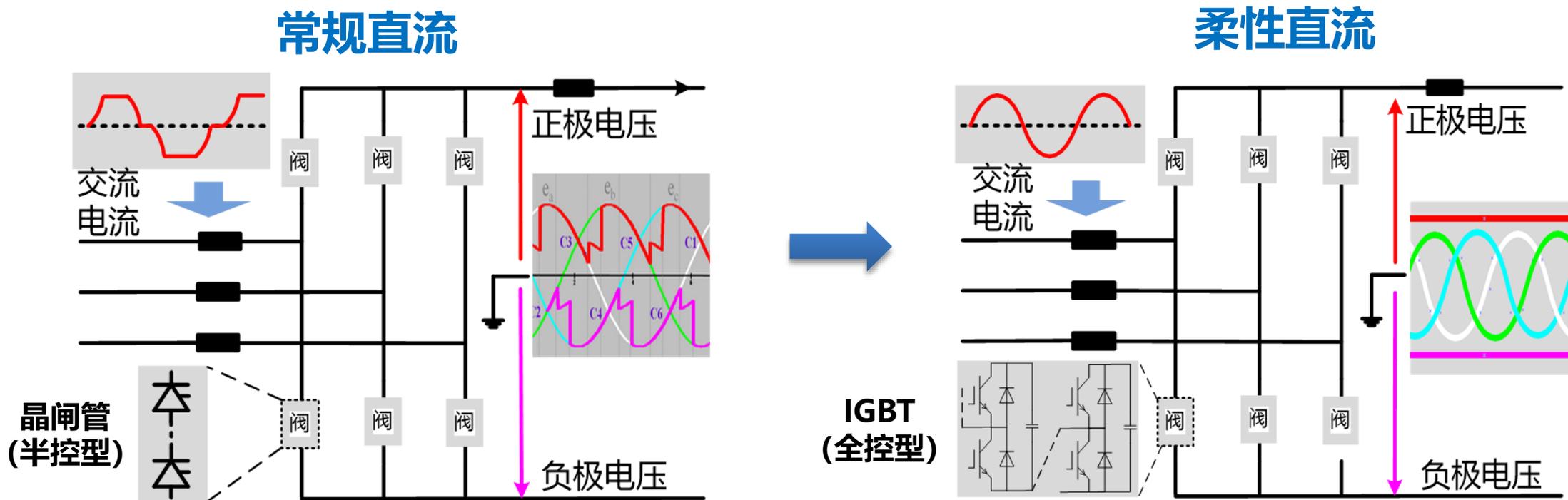
中国目前已投运特高压直流达19条，特高压直流输电技术是国际上公认的我国领先世界的技术

| 序号 | 工程名 | 输送功率 | 直流电压 | 输送距离 | | 投运年份 |
|----|--------------------------------|------|------|------|------|------|
| | | | | 架空线 | 电缆 | |
| 1 | 舟山直流工程 (单极) | 50 | -100 | 42 | 12 | 1987 |
| 2 | 葛洲坝-上海直流工程 | 1200 | ±500 | 1045 | / | 1989 |
| 3 | 天生桥-广州直流工程 | 1800 | ±500 | 960 | / | 2000 |
| 4 | 岷泗直流工程 | 60 | ±50 | 6.5 | 59.7 | 2002 |
| 5 | 三峡-常州直流工程 | 3000 | ±500 | 860 | / | 2002 |
| 6 | 三峡-广东直流工程 | 3000 | ±500 | 960 | / | 2004 |
| 7 | 贵州-广东I直流工程 | 3000 | ±500 | 880 | / | 2004 |
| 8 | 灵宝背靠背工程 | 1110 | / | / | / | 2005 |
| 9 | 三峡-上海直流工程 | 3000 | ±500 | 1049 | / | 2006 |
| 10 | 贵州-广东II直流工程 | 3000 | ±500 | 1225 | / | 2007 |
| 11 | 高岭背靠背工程 | 1500 | / | / | / | 2008 |
| 12 | 德阳-宝鸡直流工程 | 3000 | ±500 | 534 | / | 2009 |
| 13 | 三峡-上海II直流工程 (双回, 葛洲坝-上海直流工程改造) | 3000 | ±500 | 976 | / | 2010 |
| 14 | 云南-广东特高压 | 5000 | ±800 | 1373 | / | 2010 |
| 15 | 向家坝-上海特高压 | 6400 | ±800 | 1907 | / | 2010 |
| 16 | 呼伦贝尔-辽宁直流工程 | 3000 | ±500 | 908 | / | 2010 |
| 17 | 宁东-山东直流工程 | 4000 | ±660 | 1335 | / | 2011 |
| 18 | 中俄500kV直流联网黑河背靠背换流站工程 | 750 | 500 | / | / | 2011 |
| 19 | 青海-西藏直流联网工程 | 1200 | ±400 | 1038 | / | 2011 |
| 20 | 四川锦屏-苏南特高压直流工程 | 7200 | ±800 | 2059 | / | 2012 |
| 21 | (高岭) 直流背靠背扩建工程 | 3000 | ±125 | / | / | 2012 |

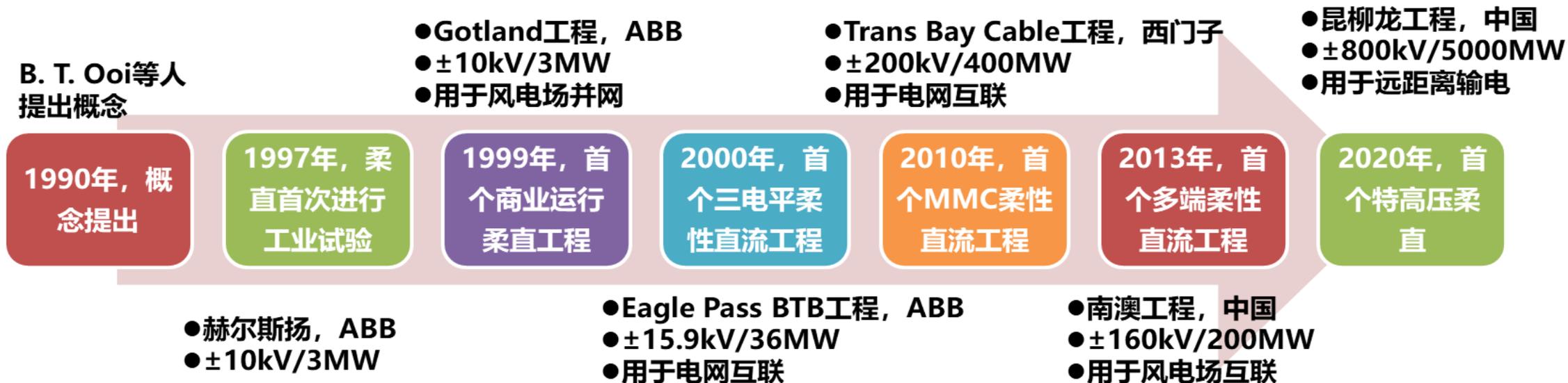
| | | | | | | |
|----|-------------------|-------|-------|------|---|------|
| 22 | 哈密-郑州特高压直流工程 | 8000 | ±800 | 2300 | / | 2014 |
| 23 | 溪洛渡左岸—浙江金华特高压直流工程 | 8000 | ±800 | 1680 | | 2014 |
| 24 | 溪洛渡直流输电工程 | 6400 | ±500 | 2446 | / | 2014 |
| 25 | 糯扎渡直流输电工程 | 5000 | ±800 | 1451 | / | 2015 |
| 26 | 金中直流输电工程 | 3200 | ±500 | 1105 | / | 2016 |
| 27 | 鲁西背靠背直流输电工程 | 2000 | ±160 | / | / | 2016 |
| 28 | 观音岩直流输电工程 | 3000 | ±500 | 570 | / | 2016 |
| 29 | 滇西北特高压直流工程 | 5000 | ±800 | 1928 | / | 2017 |
| 30 | 宁东-浙江特高压直流工程 | 8000 | ±800 | 1800 | / | 2017 |
| 31 | 锡盟-泰州特高压直流工程 | 10000 | ±800 | 1619 | / | 2017 |
| 32 | 酒泉-湖南特高压直流工程 | 8000 | ±800 | 2400 | / | 2017 |
| 33 | 上海庙-山东特高压直流工程 | 10000 | ±800 | 1238 | / | 2017 |
| 34 | 晋北-苏南特高压直流工程 | 8000 | ±800 | 908 | / | 2017 |
| 35 | 扎鲁特至山东青州特高压直流工程 | 10000 | ±800 | 1234 | | 2017 |
| 36 | 准东-皖南特高压直流工程 | 12000 | ±1100 | 3324 | / | 2018 |
| 37 | 乌东德特高压多端直流工程 | 8000 | ±800 | 1489 | / | 2020 |
| 38 | 青海-河南特高压直流工程 | 8000 | ±800 | 1587 | / | 2020 |
| 39 | 四川雅中-江西特高压直流工程 | 8000 | ±800 | 1696 | / | 2021 |
| 40 | 陕北-湖北特高压直流工程 | 8000 | ±800 | 1137 | / | 2022 |
| 41 | 粤港澳大湾区直流背靠背电网工程 | 6000 | ±300 | / | / | 2022 |
| 42 | 白鹤滩-江苏特高压直流工程 | 8000 | ±800 | 2088 | / | 2022 |

1、直流输电与电力电子技术的作用-柔性直流输电

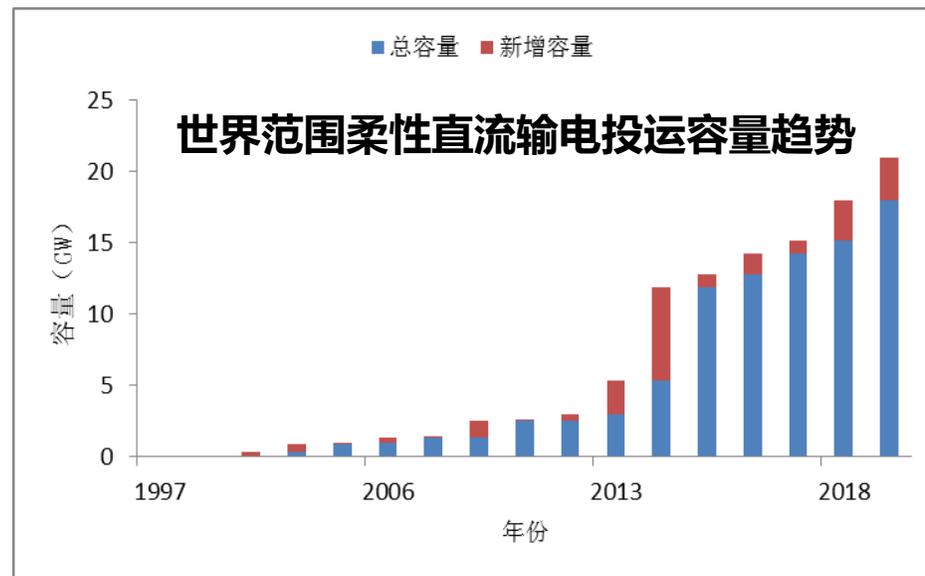
- 除了对电能进行大容量、远距离输送外，**柔性直流输电技术**作为新一代直流输电技术，能够**提高系统的稳定运行水平，增加电网灵活性**，将成为电网转型升级的重要发展方向。
- 柔性直流输电采用**可关断器件**（如IGBT），其换流过程不依赖电网支撑，**无换相失败现象**。在电网发生故障时，能够**穿越故障同时通过主动控制提供电压支撑**，提高电网稳定水平。可实现**有功无功解耦控制**，具备高度可控性和灵活性。



1、直流输电与电力电子技术的作用-柔性直流输电



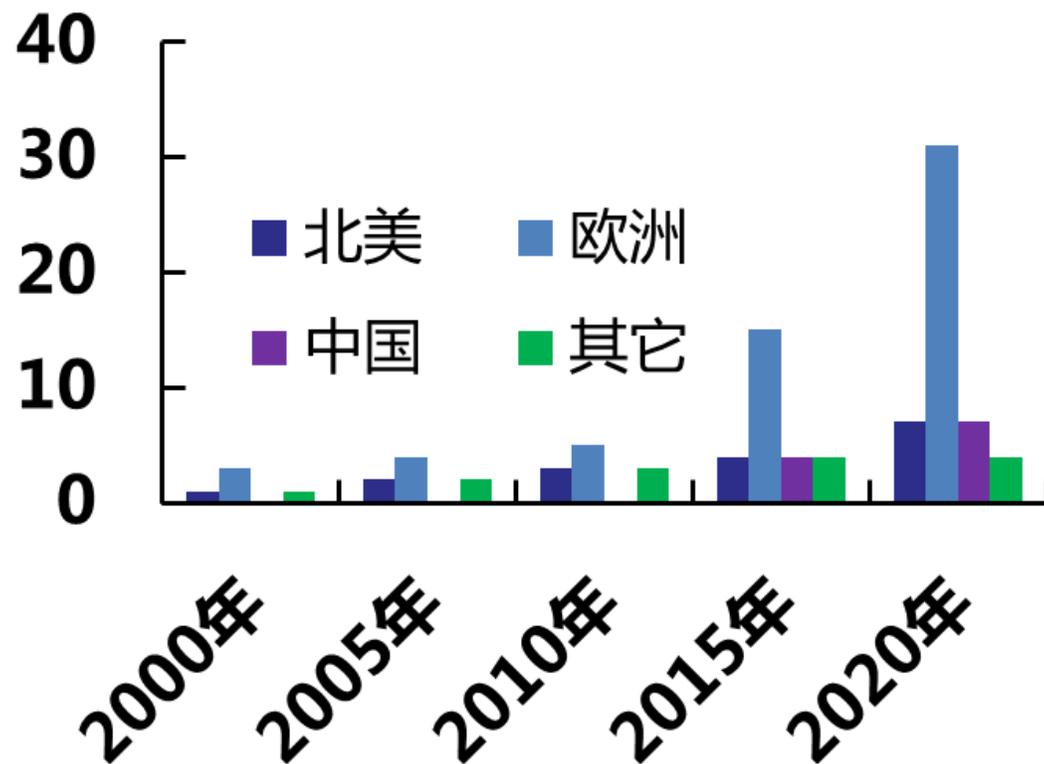
| 柔性直流技术路线表 | |
|-----------|-----------------------------|
| 第一代 | 两电平技术, SPWM调制方式, 损耗3%左右 |
| 第二代 | 三电平技术, SPWM调制方式, 损耗2%左右 |
| 第三代 | 两电平技术, OPWM调制方式, 损耗1.5%左右 |
| 第四代 | 多电平技术, 最近电平逼近调制, 损耗1%左右 |
| 第五代 | 多电平技术, 具有直流故障清除能力 (可用于架空线路) |



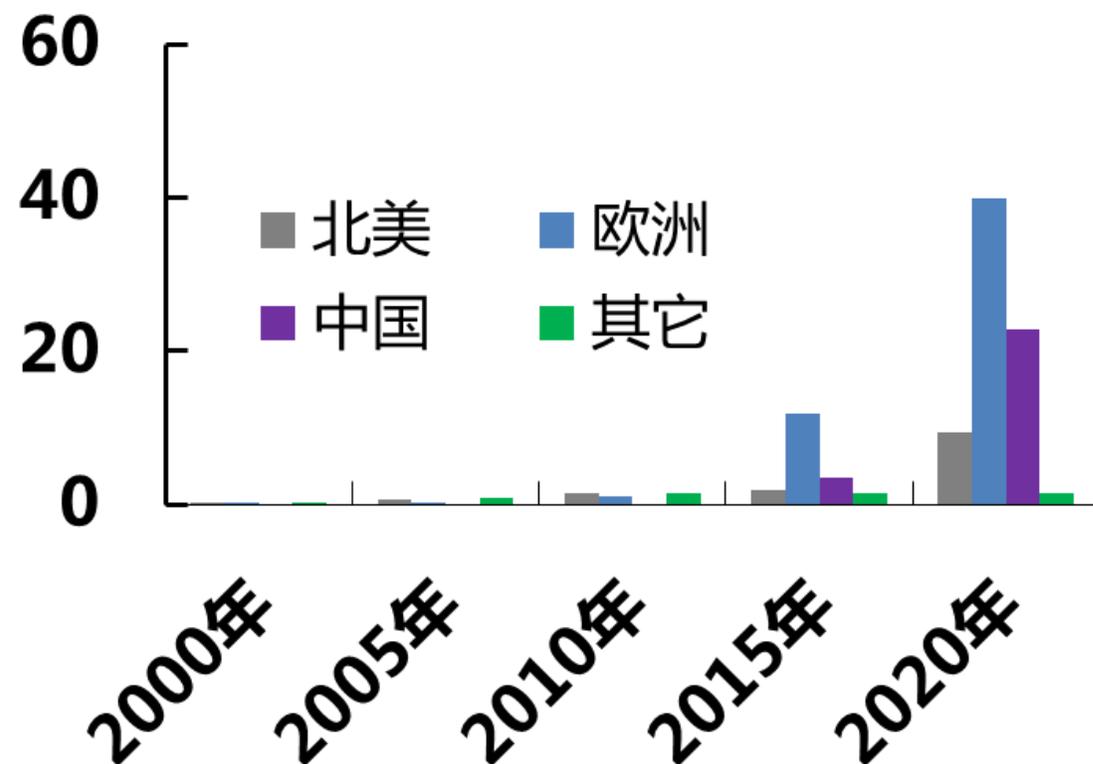
1、直流输电与电力电子技术的作用-柔性直流输电

- 从数量上看，已经投运的主要分布在欧洲，其次是中国；从变电容量上看，中国增长速度最快

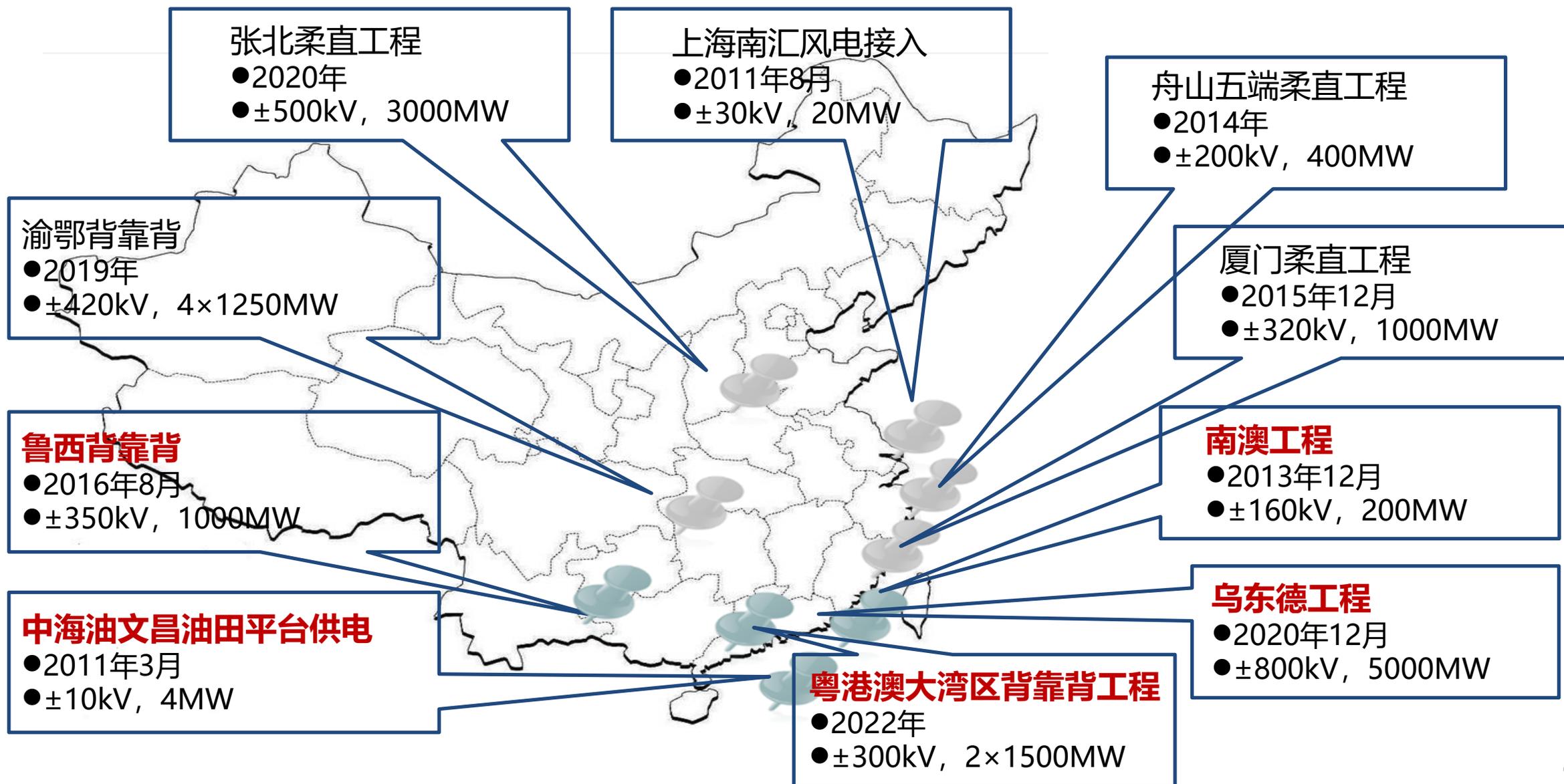
工程数量



变电容量/GW



1、直流输电与电力电子技术的作用-柔性直流输电



- 直流输电与电力电子技术和电力系统、能源系统的发展息息相关，在实现双碳目标、建设新型电力系统的过程中将起到非常关键的作用。
- 我国的直流输电与电力电子技术走在世界前列，有丰富的经验和深厚的技术积累，要高度重视其作用，开展更加深入的科学技术研究。

2、新型电力系统需要电力电子技术

2、新型电力系统需要电力电子技术



习近平在第七十五届联合国大会
一般性辩论上发表重要讲话

2020年9月22日 **习近平总书记在第七十五届联合国大会一般性辩论上的讲话提出**：“中国将提高国家自主贡献力度，采取更加有力的政策和措施，**二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值，努力争取2060年前实现碳中和**”。

- 如期实现双碳目标意义重大。
- 未来的能源格局：可再生能源为主体。

2021年3月15日，中央财经委员会第九次会议指出，“十四五”是碳达峰的关键期、窗口期，要构建清洁、低碳、安全、高效的能源体系，控制化石能源总量，着力提高利用效能，实施可再生能源替代行动，深化电力体制改革，**构建以新能源为主体的新型电力系统。**

新型电力系统的特征

1、动态特性

传统电力系统，动作时间常数大（秒-分钟级），“慢速”的系统机电特性，稳定性高

新型电力系统，电力电子弱惯性特点，动作时间常数小（微秒级），频域分布广（DC-数百 Hz），波动性和随机性强

2、安全稳定理论

传统电力系统，机电同步过程，模型等效，基于机电转动惯量的**稳定理论**

新型电力系统，数据同步过程，数据驱动，基于数字化的信息与物理系统融合，基于“电力+算力”的**系统平衡理论**

3、系统规模特征

传统电力系统，集中式，单体规模大（100MW级），数量较少

新型电力系统，分布式，单体规模小（kW/MW级），数量庞大

4、系统形态和生态

传统电力系统，面向功能、界限分明，以模型和预测为核心的仿真系统，面向集中式架构，存在功能割裂、信息封闭、技术受限的问题

新型电力系统，“源网荷储”融合变换，“能量和信息”交织互动，基于全局的数据是电力系统研究纽带和基础

2、新型电力系统需要电力电子技术

新型电力系统的特征

5、负荷侧格局和用户

传统电力系统，负荷可预测可计划，相对稳定，用户是电力消费者

新型电力系统，负荷侧包括新能源和储能，客户从单纯的消费者转变为“生产者+消费者”，负荷不确定性强，用户融入系统

6、系统安全

传统电力系统，确定性强，功能单一，易控制

新型电力系统，不确定因素多，功能复杂，构建系统和元件的新型网络安全体系

7、电力系统架构

传统电力系统，大电网，同步电网

新型电力系统，能源电力一体化，泛电气化，大电网+主动配电网+微电网

8、新型电力系统的数字化、信息化、智能化—透明电力系统

传统电力系统，依靠模型，着眼于物理电网本身特性

新型电力系统，不完全依赖电网模型，数字数据海量，动态变化；以软件计算为基础

新型电力系统概念情景

新能源为主体
能源供给侧脱碳

- **新型电力系统概念情景对应于2060年碳中和**
- **清洁能源成为主力能源，化石能源逐步退出**
- **清洁能源主要包含水、风、光、生物质等可再生能源，区别于传统的煤、石油、天然气等化石能源**
- **构建以新能源为主体的新型电力系统，光伏、风电将成为新增能源主力军**

新型电力系统概念情景

泛电气化

电成为主力
电能多元化转换
(Electric power-to-X)

- 新型电力系统概念情景对应于2060年碳中和。
- 终端电能消费大幅度提升，到2060年，达到70%左右。
- 除了以电能作为直接能源外，目前尚未使用或者大规模使用电力的工业等领域将广泛使用电能。
- 电能多元化转换 (Electric power-to-X)
- 例如，电解水制氢，氢用于交通、工业的能源等；铁路电气化水平提高；电动汽车普及，电炉炼钢等等。
- 电能除了直接使用，还间接制造能源，称为泛电气化。
- 泛电气化背景下电能将在能源中占90%左右。

双碳目标下的2060新型电力系统概念情景

- 装机和发电量主要是**可再生能源**。相比现在，火电大幅减少，风力发电、光伏发电大幅增加，核电、生物质发电也明显增加
- 电力在终端能源占比将大幅提高至**70%**（直接）、**90%**（泛电气化）
- 发电量约**15万亿千瓦时**（直接）、**19万亿千瓦时**（泛电气化）
- 发电装机总容量约100亿千瓦，其中：风光装机总容量约90亿千瓦、火电装机约5亿千瓦、水电装机约4.5亿千瓦、核电装机约3亿千瓦，其他2亿千瓦
- 风光发电量约15万亿千瓦时

双碳目标下的2060新型电力系统概念情景

- **电网形态：大电网+有源（主动）配电网+微电网**
- **配电网与分布式电源协同发展**
- **高渗透率接入新能源将深刻改变传统电力系统的形态、特性和机理**
- **透明**是新型电力系统的主要特征
- 电力系统**柔性可控**
- 可以 **“无条件”** 接受新能源
- 系统有 **“无限大”** 的功率、 **“无限多”** 的能量
- 系统的安全稳定依靠功率的**动态平衡**、能量的**动态平衡**
- 犹如现在的**配电网系统**

2、新型电力系统需要电力电子技术

新型电力系统的信息化、数字化、智能化--透明电力系统

透明电力系统是**信息技术、计算技术、通信技术、传感技术、控制理论和控制技术、运筹学、人工智能、互联网等与电力系统的深度融合。**

透明电力系统中配置的小微智能传感器及其传感网络无处不在，构建含泛在电力物联网的基础设施；先进通信技术、大数据技术、云计算技术、边缘计算技术、人工智能技术等**在电网中广泛应用，实现电网的自由（无限、海量）数据采集、自由（无限、海量）数据存储、自由（无限、海量）数据获取、自由（无限、海量）智能分析。**）

高度智能化能力的强大软件平台。

不完全依赖电网模型，在海量数据基础上，通过大数据和计算技术，透过数据关系发现电力系统运行规律，实现电网的智能运行。

2、新型电力系统需要电力电子技术

透明电网（电力系统）要素

- 信息技术、计算机技术、数据通信技术、传感器技术、电子控制技术、自动控制理论、运筹学、人工智能、互联网技术等有效地综合运用于电力系统。
- 基于透明电网，社会各方能够广泛深入参与电力生产、传输、消费等各个环节，协同促进能源电力的安全高效、绿色低碳发展。
- **透明电网（电力系统）的要素：**
 - **小微智能传感器**
 - **智能设备和设备智能化、智能二次系统**
 - **强大的软件平台**
 - **大数据平台**
 - **小微能量获取的自由化（随时随地获取）**
 -
 - **透明化和应用：电网设备状态透明、运行状态透明、市场信息透明、、、**

2、新型电力系统需要电力电子技术

基于新型电力系统的特征和概念情景，大规模新能源并网将对系统的安全稳定运行产生重大影响，电力电子变换器在其中起到关键作用。“双高”电网对电力电子设备提出更高的要求，**新型电力系统需要电力电子技术。**

1. 高性能电力电子器件

2. 构网型电力电子变换器

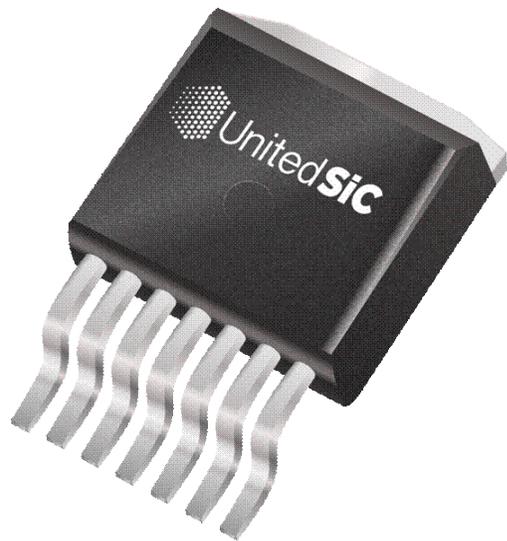
3. 智能化电力电子设备

4. 柔性直流输电与柔性直流电网

2、新型电力系统需要电力电子技术

1. 高性能电力电子器件

- 电力电子器件是电力电子技术应用的基础。未来，电力电子器件将持续向**高频化、高效率**的方向发展，其中**高频化**能够使电力电子器件本身的**体积变小**，同时可以减少磁性元件，使整体系统的体积变小，从而更加灵活地应用于新型电力系统的各种场景。
- 以**SiC、GaN**为代表的第三代半导体电力电子器件将成为未来发展的主流。需要加大对它的**研发投入和产业化支持**，向国际先进水平发展。

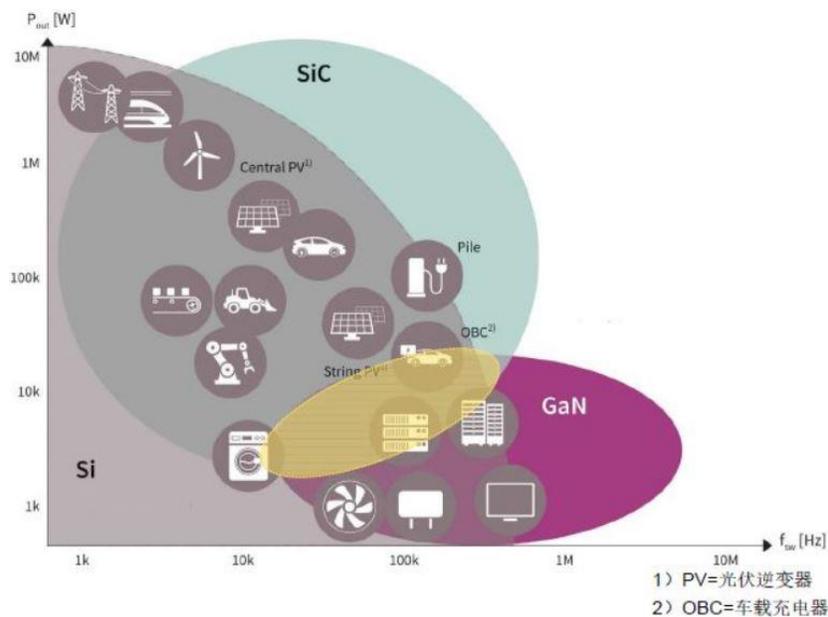


2、新型电力系统需要电力电子技术

1. 高性能电力电子器件

- 目前，**SiC**主要应用于**高压大功率场合**，**GaN**主要应用于**高频中小功率场合**。例如SiC比较典型的应用场景有风力、光伏发电，轨道交通牵引，车载充电器等；GaN典型应用场景有工业级不间断电源UPS，各类消费类电源，无线充电，车载充电器等。
- 相比SiC器件，GaN耐压低，但工作频率更高，未来这两类器件将在**风光新能源发电、储能、新能源汽车充电设备**等领域发挥重要作用，支持新型电力系统的建设。

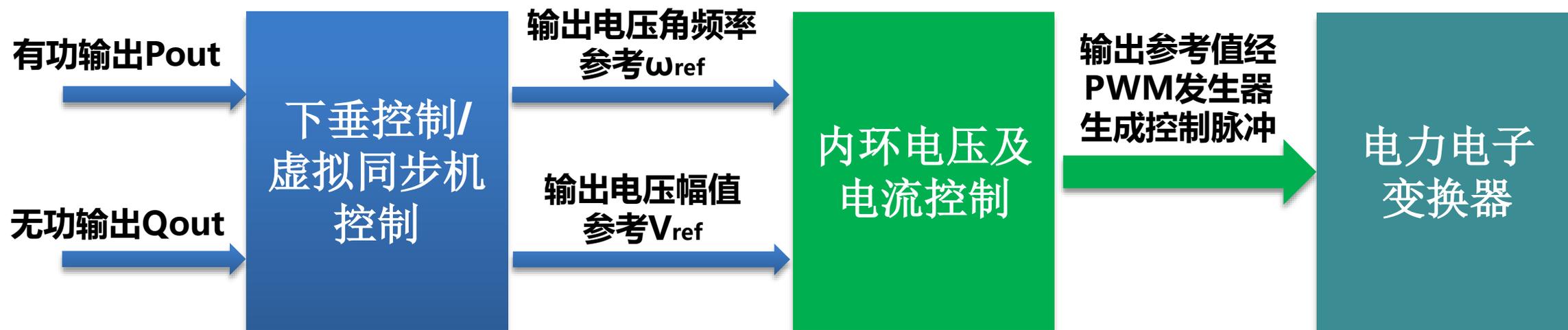
Si、SiC、GaN应用场景（英飞凌）



2、新型电力系统需要电力电子技术

2. 构网型电力电子变换器

- 传统的电力系统有大容量的同步电机提供系统惯量，而新型电力系统包含大量的电力电子设备，缺少惯量支撑，存在抵御风险能力下降的问题。
- 构网型电力电子变换器（Grid-forming converter）通过控制使变换器对外表现为**受控电压源特性**，能够类似“同步机”**给系统提供惯量支撑**，提高系统强度。



构网型电力电子变换器控制策略示意图

2. 构网型电力电子变换器

- 新能源发电通过构网型电力电子变换器并网，能够**参与电网调频调压，提供系统惯量支撑**，能有效应对新能源随机性、间歇性、波动性给系统造成的潜在安全稳定风险，**提高新能源消纳能力**。
- 储能系统同样能够运用构网型电力电子变换器，**构建起支撑大电网稳定运行的电压源**，可以起到快速调频调压、增加惯量和短路容量支撑、抑制宽频振荡等作用。或者**在分布式电网及微电网系统中作为主要电源**，实现分布式系统的稳定自治运行。
- 构网型电力电子变换器将成为新型电力系统中的关键装置，**需要进一步研究其在大系统中的运行特性，加快试点建设，同时探讨完善其推广应用的方法和机制**。



3. 智能化电力电子设备

- 新型电力系统将与数字化、信息化、智能化技术深度融合，构建“可见、可知、可控”的透明电力系统。传统电气设备将与电力电子技术结合，同时与先进传感、通讯、计算、人工智能等高新技术有机融合实现数字化、信息化、智能化。
- 智能化电力电子设备的特征：**设备功能+智能信息**，可见可知，灵活可控。
- 智能化电力电子设备要素：
 - 状态感知、预测
 - 智能材料
 - 嵌入智能元件
 - 参数可调可控
 - 行为智能化

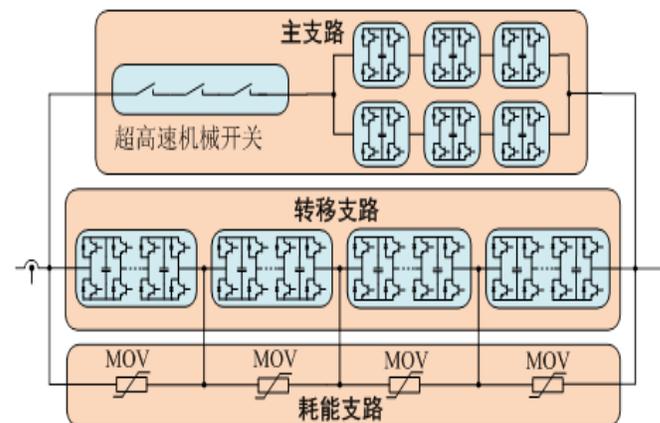
2、新型电力系统需要电力电子技术

3. 智能化电力电子设备

- 以电力系统中最常见的断路器作一个设想：

智能断路器

- 理想的智能断路器：
 - 故障自诊断、自触发启动
 - 微秒量级时间开断
 - 可实现交流系统定相位同步开断
 - 可深度抑制过电压和过电流
 - 通态损耗极小
 - 信息提供和传输

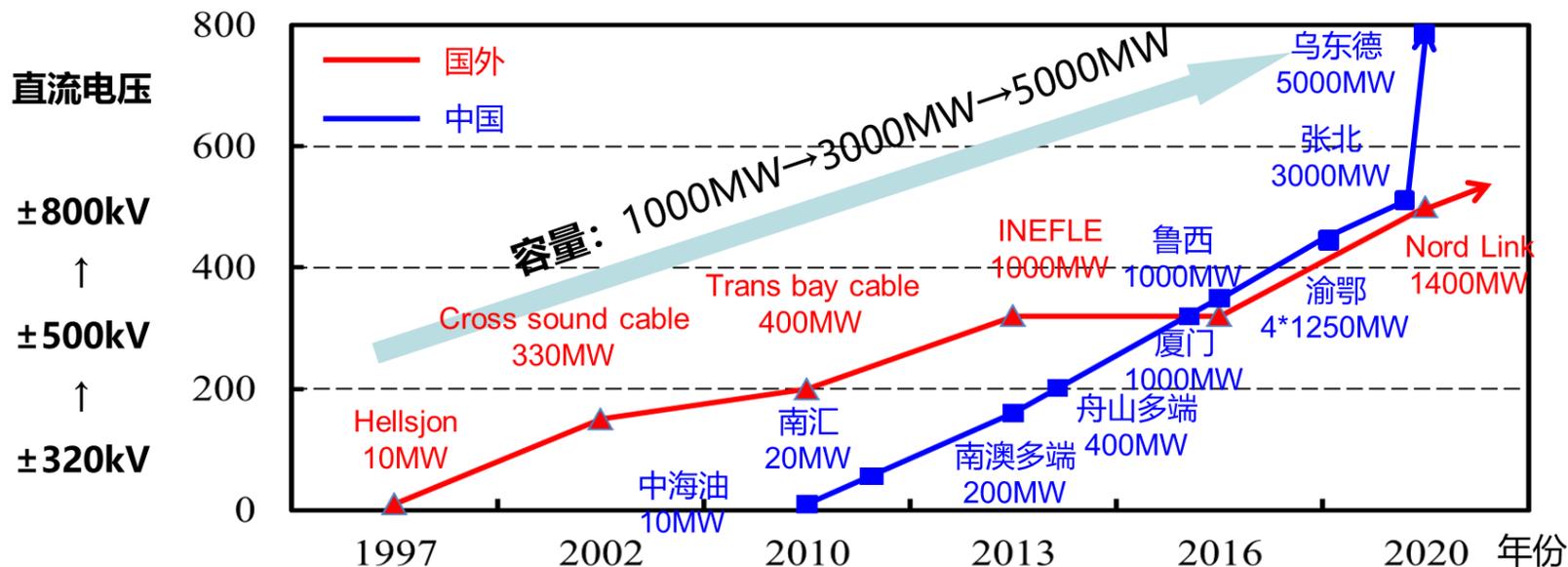


2、新型电力系统需要电力电子技术

4. 柔性直流输电与柔性直流电网

- 新型电力系统中，大规模可再生能源发电的传输和消纳仍然需要直流技术。**柔性直流技术**因其**更高的可控性、无换相失败问题、具备黑启动能力**等优势将成为**新能源发电送出及并网的主流**。
- **特高压大容量、直流电网、直流配网**是柔性直流技术快速发展的方向
 - 柔性直流具备与常规直流相当的电压和容量能力，满足输电需要，适合区域电网柔性互联
 - 柔性直流更大范围的应用将会成为大电网发展的趋势。

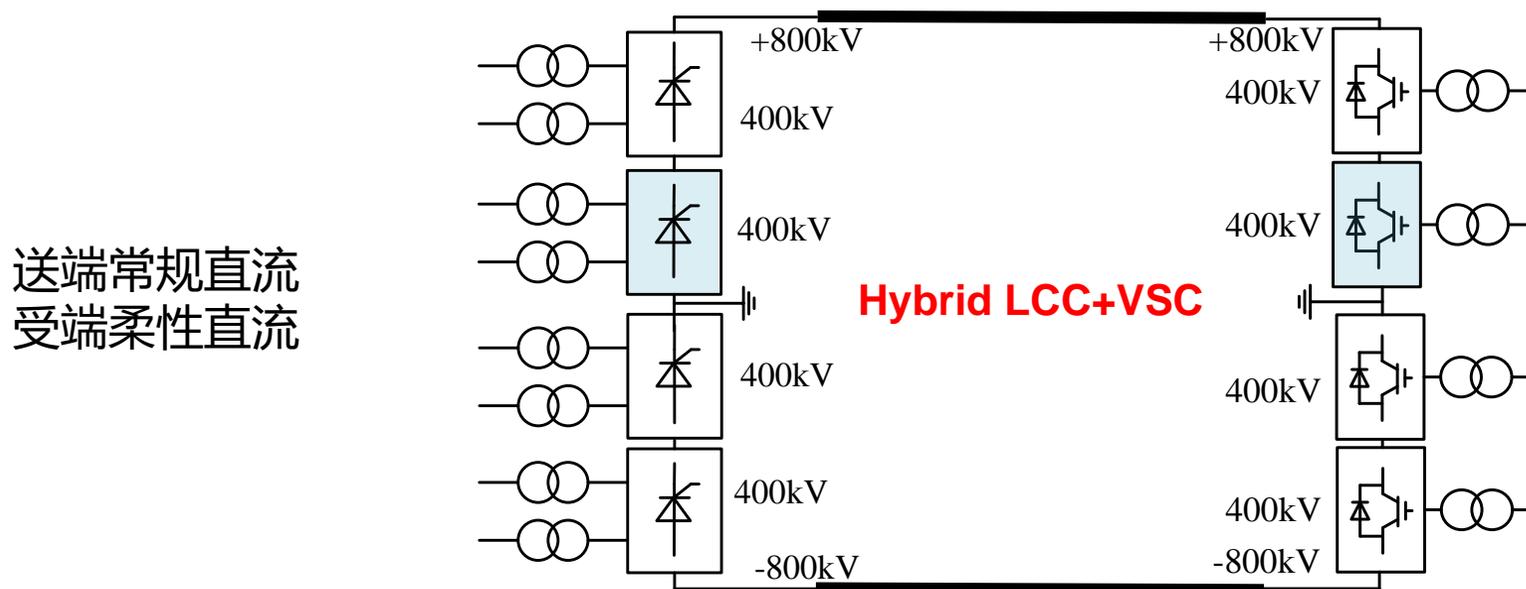
国内外柔直工程
发展趋势



2、新型电力系统需要电力电子技术

4. 柔性直流输电与柔性直流电网

- 乌东德电站送电广东广西特高压多端柔性直流输电工程创造了令人瞩目的成绩，在新型电力系统的建设过程中，**特高压大容量的柔性直流输电工程将继续在清洁电力远距离输送中发挥关键作用。**
- 除了新建工程外，**将已有常规直流工程的受端改造为柔性直流**也将是一项重要工作，解决多直流馈入换相失败问题，提高受端接纳区外直流输电的能力。



4. 柔性直流输电与柔性直流电网

- 海上风电资源丰富，可开发潜力大，将成为新能源发电的关键战场。**柔性直流是未来海上风电送出的核心技术。**
- 要加大柔性直流技术的研发力度，促进未来**大规模深远海风电的开发和利用。**

直流送出方案优化

- 直流拓扑结构优化
- 输送电压等级、容量优化

直流成套设计优化

- 主接线、主回路优化
- 绝缘设计优化、设备选型优化

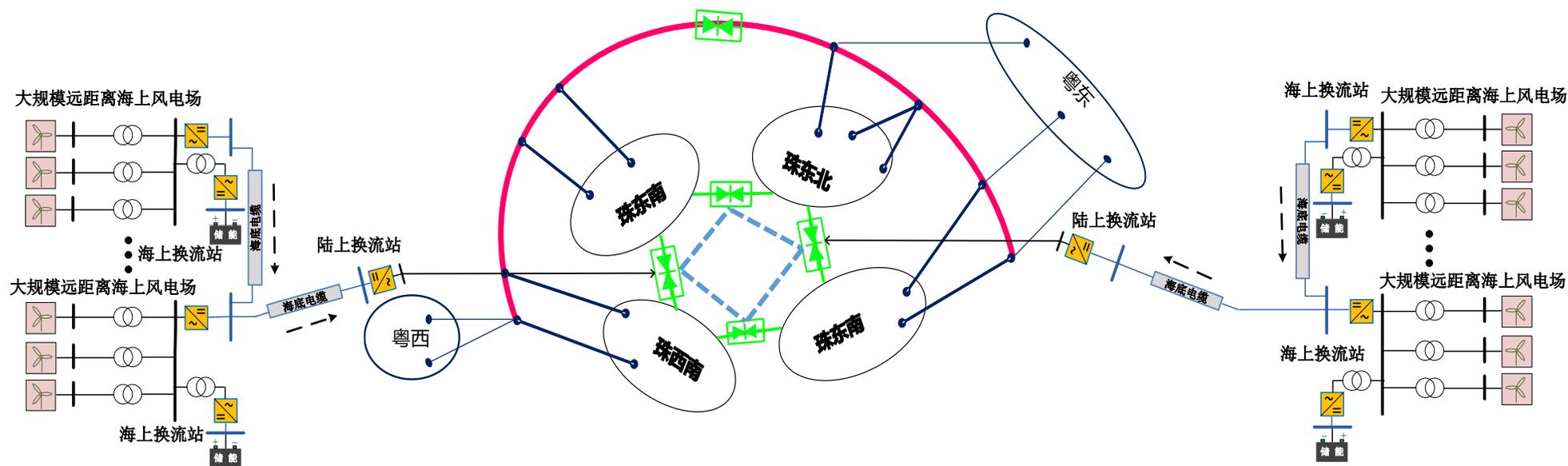
直流关键设备研制

- 换流阀、柔直变压器、直流海缆

2、新型电力系统需要电力电子技术

4. 柔性直流输电与柔性直流电网

- **建设柔性直流电网**也是柔性直流技术未来应用的一个重要方向。 $\pm 500\text{kV}$ 张北柔性直流工程是**世界首个柔性直流电网工程**，是真正具有网络特性的直流电网，能够实现风光储多能互补，开了个好头。
- **广东负荷中心区直流电网设想**：利用广东电网东、西部分区背靠背柔直工程，通过直流（电缆）线路将4个背靠背柔直的直流侧互联，形成直流环网。海上风电岸上汇集后接入直流环网，提高海上风电消纳率，如下图所示。

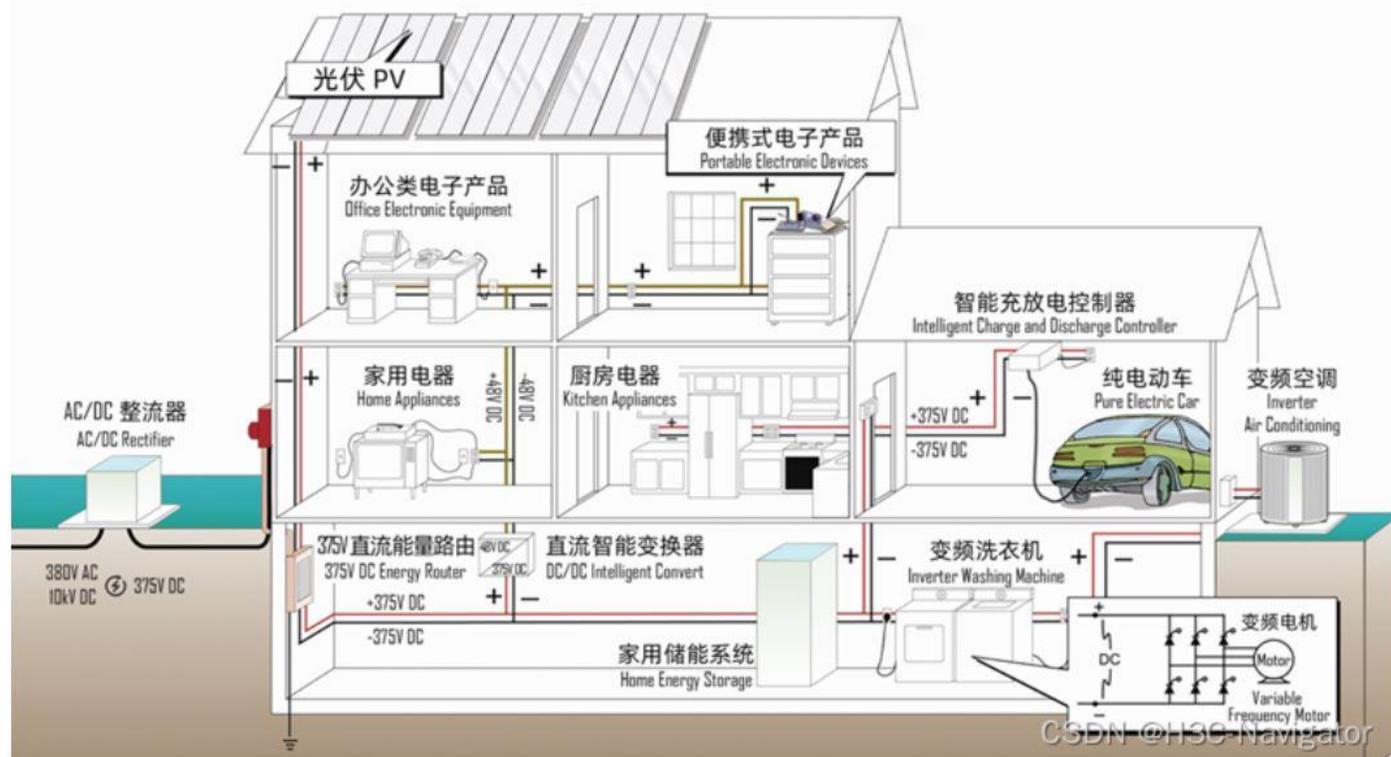


2、新型电力系统需要电力电子技术

4. 柔性直流输电与柔性直流电网

- 光储直柔（PEDF）是在建筑领域应用太阳能光伏（Photovoltaic）、储能（Energy storage）、直流配电（Direct current）和柔性交互（Flexibility）四项技术的简称。即在建筑中通过直流母线连接分布式光伏、储能和可调用电负荷实现市电功率柔性控制。

典型“光储直柔”
建筑架构
(图源自网络)



4. 柔性直流输电与柔性直流电网

发展光储直柔的意义

- 在建筑上应用**直流配电**，可显著改善系统性能，提升新能源发电的利用效率，提高电源品质和安全性；柔性交互使得终端建筑的用电需求从原来的刚性需求（用户用多少、电网供多少）转变为柔性需求（可中断、可调节），对于**提高源、网、荷协同运行能力**有重要意义。
- **储能系统**可以实现**双向充放电**功能，多余的新能源电量通过储能系统为新能源汽车充电，新能源发电不足时，**新能源汽车可以反向为建筑以及建筑中的各种电器供电**，显著提升灵活性，**这一思路同样可以应用到大系统中**。
- 光储直柔是**发展零碳能源的重要支柱**，为大规模发展风电光电所面临的**光电安装空间和风电光电调控这两大难题**提供了解决思路，是**实现建筑全面电气化和用电零碳化**的有效措施，能有效支持新型电力系统的建设。

2、新型电力系统需要电力电子技术

电力系统从刚性向柔性发展

传统电力系统基本是刚性的。传统电力系统电源的主体是同步发电机，同步发电机基于电磁感应原理，建立稳定的电压源；不同的发电机之间通过电功率与功角的比例关系、电功率与机械功率在转子上的平衡作用等基本机制保持同步运行。**系统的稳定以惯量平衡为基础。**

新型电力系统是柔性的。以新能源为主体的发电系统，例如光伏和风电，他们与同步发电机有本质的区别，是非同步机电源，有大量的电子电力设备。系统的稳定已无法依靠惯量平衡作为基础，需要电力电子技术和数字化、信息化、智能化相配合，**系统的安全稳定依靠功率的动态平衡、能量的动态平衡，犹如现在的配电网系统。**

1. 高性能电力电子器件

2. 构网型电力电子变换器

3. 智能化电力电子设备

4. 柔性直流输电与柔性直流电网

3、工作和展望

--直流输电和电力电子技术要适应新型电力系统的需求

3、工作和展望

--直流输电和电力电子技术要适应新型电力系统的需求

■ 实现双碳目标，建设新型电力系统是国家坚决要落实的工作任务，直流输电和电力电子技术作为电力领域的重要技术分支，**要适应新型电力系统的需求，坚定不移朝着这一目标发展前进。**

- 大规模新能源发电并网给了电力电子技术巨大的发展空间，未来要在**高性能电力电子器件、构网型电力电子变换器、智能化电力电子设备、柔性直流输电和柔性直流电网**四个方面持续开展创新实践，**研发硬核技术。**
- 要正视部分领域存在的差距，**培育形成完整的电力电子产业链**，疏通链条上下游之间的障碍，建立协同高效的机制。
- 坚定的政策导向是基础，扎实的政策支持是重点，要加强与国家有关部门的沟通协调。

3、工作和展望

--直流输电和电力电子技术要适应新型电力系统的需求

- 过去的十年，直流输电与电力电子专委会取得了令人欣喜的成绩，推动了国家直流输电与电力电子事业的快速发展，这离不开每个委员以及行业内的每个人员的努力付出。
- 专委会在这次大会上成功换届，迎来了崭新的篇章。在这个新起点上，希望新一届专委会能够继续秉持着踏实奋斗的作风，为实现新型电力系统的数字化信息化智能化努力，为国家的能源电力事业作出贡献。

谢 谢 ！