



绪 论

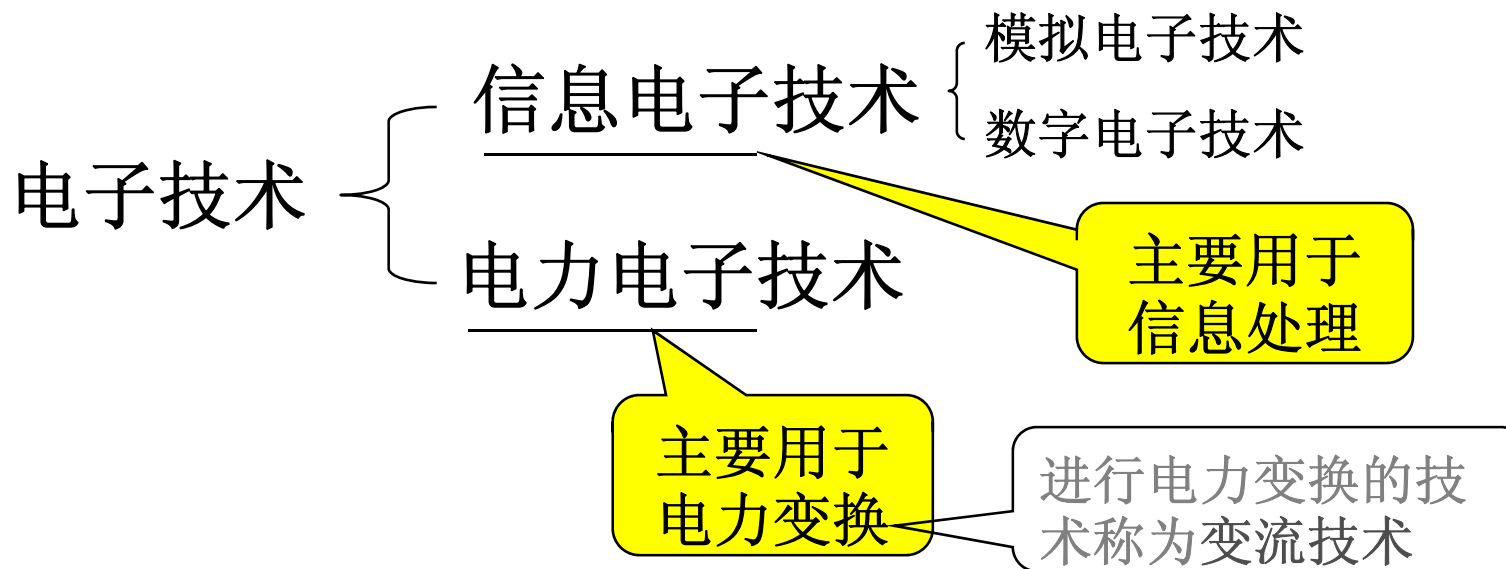
0.1 什么是电力电子技术

0.2 电力电子技术的主要内容

0.3 电力电子技术的发展、应用及地位



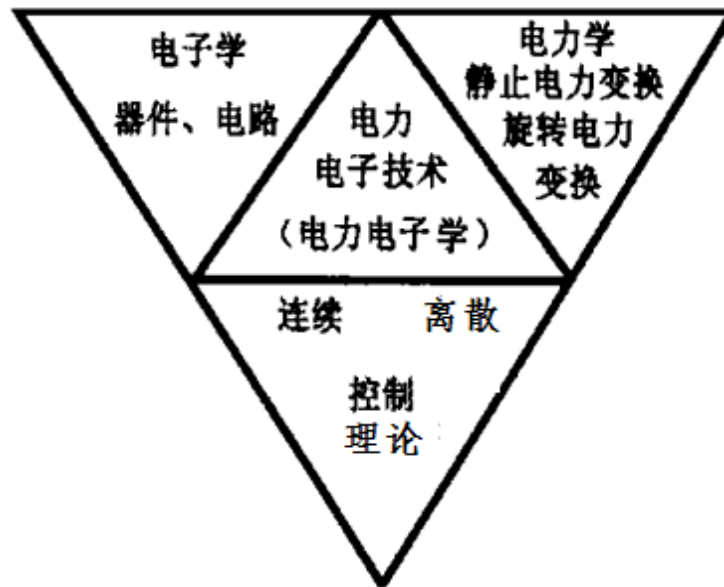
0.1 什么是电力电子技术





0.1 什么是电力电子技术

■ 1974 年的W.Newell 定义:



电力电子技术是横跨在电子学、电力学及控制学之间的边缘学科。

图0-1 电力电子技术的Newell 定义





0.1 什么是电力电子技术

■ 1980 年前后B.K.Bose的定义:

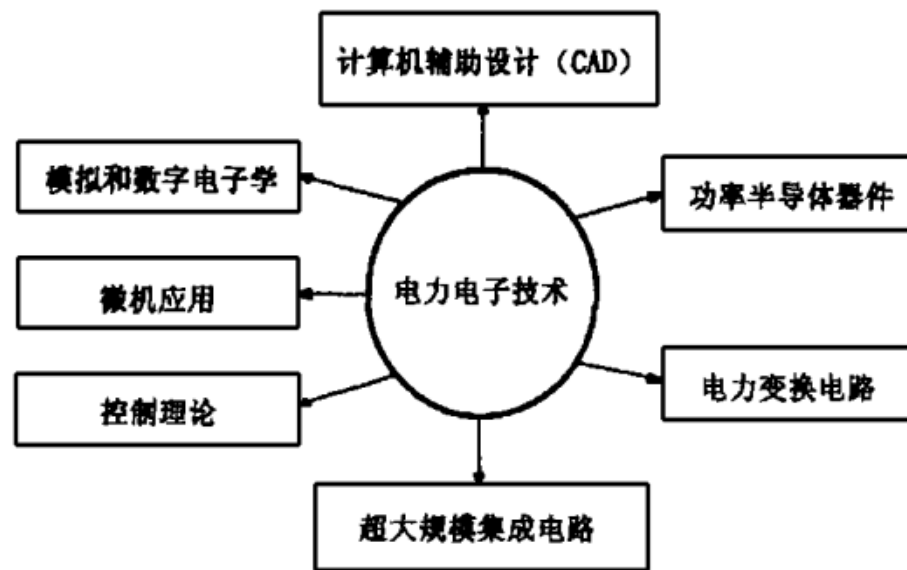


图0-2 电力电子技术的新定义

电力电子技术是一门由功率半导体器件、电力变换电路、超大规模集成电路、控制理论、微机应用、信息电子学、计算机辅助设计等多学科相互渗透的综合性技术学科。



0.1 什么是电力电子技术

■ PELS (Power Electronics Society) 的定义:

电力电子技术是有效地使用电力半导体器件、应用电路和设计理论以及分析开发工具，实现对电能的有效变换和控制的技术，包括电压、电流、频率和波形等方面的变换。

■ 我国目前通用的定义:

电力电子技术是应用于电力领域的电子技术，
是使用电力电子器件对电能进行变换和控制的技术。



0.2 电力电子技术的主要内容

■ 电力电子技术包括 **电力电子器件制造技术** 和 **变流技术** 两个分支

◆ **电力电子器件制造技术** 是电力电子技术的基础，

◆ **变流技术** 是电力技术的核心——本课程主要内容

■ 四种基本的电力变换

输出 \ 输入	交流 (AC)	直流 (DC)
直流 (DC)	整流 第2章	直流斩波 第4章
交流 (AC)	交流电力控制 变频、变相 第5章	逆变 第3章





0.2 电力电子技术的主要内容

■ 四种基本的电力变换

- ◆ 交流变直流（AC-DC），称为整流
- ◆ 直流变交流（DC-AC），称为逆变
- ◆ 直流变直流（DC-DC），称为直流斩波*
- ◆ 交流变交流（AC-AC），包括交流调压、变频两大类

*直接的直流变直流称为直流斩波

0.2 电力电子技术的主要内容

■ 电力电子系统组成

- ◆ 实现电力变换的电路被称为 **电力电子电路**,
- ◆ 从宏观的角度讲, 电力电子电路也被称为 **电力电子系统**。
- ◆ 电力电子系统由 **主电路和控制电路** 两大部分组成

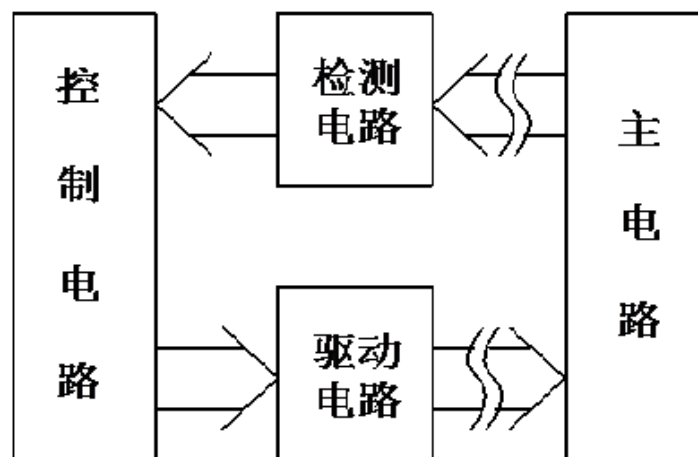


图0-3 电力电子系统组成框图



0.2 电力电子技术的主要内容

■ 本课程的主要内容

- ◆ 重点讨论 **四种基本的电力变换** **主电路** 对电力进行变换的过程
(知道 对控制信号的要求)
- ◆ 简要介绍**PWM**控制技术、软开关技术

0.3 电力电子技术的发展、应用及地位



0.3.1 电力电子技术的发展

0.3.2 电力电子技术的应用

0.3.3 电力电子技术的地位





0.3.1 电力电子技术的发展

- 电力电子技术的发展以电力电子器件的发展为主线，电力电子器件的发展对电力电子技术的发展起决定性作用。
- ◆ **电力电子技术诞生的标志：**
 - 👉 1955年美国 GE（General Electric Company）研制出第一只功率整流管（5A）
 - 👉 1957年GE研制出第一只晶闸管。
- ◆ **全控型器件**的出现，使半控型器件难以实现的功能得到很好的解决，且推动了**脉宽调制（PWM）控制技术**的迅速发展和应用。
 - 👉 20世纪70年代后期，门极可关断晶闸管（GTO）、电力晶体管（GTR）、电力场效应管（MOSFET）为代表的全控型器件迅速发展



0.3.1 电力电子技术的发展

- 电力电子技术的发展以电力电子器件的发展为主线，电力电子器件的发展对电力电子技术的发展起决定性作用。
- ◆ **复合型器件**成为现代电力电子技术中的主导器件
 - ☞ 20世纪80年代后期，绝缘栅双极型晶体管（IGBT）、集成门极换流晶闸管（IGCT）出现，具有十分优越的性能
- ◆ 电力电子技术**发展**的一个重要**方向**
 - ☞ 20世纪80年代后期，电力半导体器件的模块化、智能化和功率集成电路（PIC）的发展，代表了电力电子技术发展的一个重要方向。
- ◆ **软开关技术**，可使器件的开关损耗降为接近于零，进一步提高了开关频率和工作效率，增加了电力电子装置的功率密度。



0.3.2 电力电子技术的应用

■ 一般工业

◆ 电动机

- ☞ 电动机所消耗的电力达发电厂所发电力的**60%**以上，电力传动是电力电子技术的“主战场”。
- ☞ 直流电动机的电源（可控整流、直流斩波）
- ☞ 交流电机的交流调速、软起动等（间接交流变流、交流调压）

◆ 电化学工业

- ☞ 电解（铝、烧碱）、电镀（整流）

◆ 冶金工业

- ☞ 直流电弧炉（整流）
- ☞ 高频或中频感应加热电源、淬火（变频）

0.3.2 电力电子技术的应用

■ 一般工业

◆ 冶金工业

感应加热优点：

- (1) 非接触式加热，热源和受热物件可以不直接接触
- (2) 加热效率高，速度快，可以减小表面氧化现象
- (3) 容易控制温度，提高加工精度
- (4) 可实现局部加热
- (5) 可实现自动化控制
- (6) 可减小占地、热辐射、噪声和灰尘





0.3.2 电力电子技术的应用

■ 交通运输

◆ 电气化铁道

- 👉 电气机车中的直流机车中采用整流装置，
- 👉 交流机车用变频装置。
- 👉 直流斩波器也广泛用于铁道车辆。
- 👉 在磁悬浮列车中，电力电子技术是一项关键技术。
(整流、斩波)
- 👉 车辆中的各种辅助电源都离不开电力电子技术。

◆ 电动汽车

- 👉 电机依靠变频器和斩波器进行电力变换和驱动控制，
- 👉 蓄电池的充电依靠电力电子装置。

◆ 飞机、船舶

- 👉 需要不同要求的电源和驱动，离不开电力电子技术。

◆ 电梯

- 👉 采用交流变频调速。



0.3.2 电力电子技术的应用

■ 电力系统

电力电子技术是电力系统现代化的关键技术之一。

至2003年，发达国家在用户最终使用的电能中有75%以上至少经过一次电力电子变流装置的处理。本世纪将达90%以上。

◆ 发电环节

- 👉 大型发电机的静止励磁控制，
- 👉 水力与风力发电机的变速恒频励磁。
- 👉 发电厂风机水泵的变频调速。
- 👉 太阳能发电控制系统。
- 👉 核聚变反应堆在产生强大磁场和注入能量时，需要大容量的脉冲电源，这种电源就是电力电子装置。



0.3.2 电力电子技术的应用

■ 电力系统

◆ 输电环节

- 👉 高压直流输电(HVDC) ,
- 👉 轻型直流输电(HVDC Light)
- 👉 柔性交流输电(FACTS) 。



0.3.2 电力电子技术的应用

■ 电力系统

◆ 输电环节

☞ 高压直流输电(HVDC)

- 输电容量大、稳定性好、控制调节灵活、适于远距离输电、海底电缆输电及不同频率系统的联网，
- 1970年世界上第一项晶闸管换流阀试验工程在瑞典建成，
- 1987年我国第1条HVDC建成，
- 截至2010年，我国已投运的高压直流输电工程有15项，包括3项背靠背直流输电工程、2项特高压直流工程，高压直流输电线路总长度达 1.10×10^4 km，输送容量达36.27 GW，线路总长度和输送容量均居世界第一。



0.3.2 电力电子技术的应用

■ 电力系统

◆ 输电环节

☞ 轻型直流输电(HVDC Light)

- 采用IGBT等可关断电力电子器件组成换流器，
- 应用脉宽调制技术进行无源逆变
- 1997年，世界上第一个轻型直流输电工业性试验工程在瑞典中部投入运行（3MW/10kV/10km）。



0.3.2 电力电子技术的应用

■ 电力系统

◆ 输电环节

☞ 柔性交流输电(**Flexible AC Transmission System——FACTS**)

- **FACTS**的概念问世于**20世纪80年代后期**,
 - 电力电子技术与现代控制技术结合, 实现对电力系统的连续控制, 从而
 - 电压
 - 功率潮流
 - 线路阻抗
 - 网络结构
 - 相位角
 - 大幅度提高输电线路输送能力
 - 电力系统稳定水平
 - 均衡电网潮流
- **20世纪90年代**, 国外在研究开发的基础上开始将**FACTS**技术用于实际电力系统工程



0.3.2 电力电子技术的应用

■ 电力系统

◆ 输电环节

☞ 柔性交流输电(FACTS)

• 现有的FACTS设备

晶闸管控制移相器 (TCPR)	静止同步补偿器 (STATCOM)
晶闸管控制串联电容器 (TCSC)	静止同步串联补偿器 (SSSC)
晶闸管控制串联电抗器 (TCSR)	统一潮流控制器 (UPFC)
晶闸管控制制动电阻器 (TCBR)	可转换静止补偿器 (CSC)
晶闸管控制电压限制器 (TCVL)	超导蓄能器 (SMES)
静止无功补偿器 (SVC)	电池蓄能器 (BESS)



0.3.2 电力电子技术的应用

■ 电力系统

◆ 配电系统

即用户电力（**Custom Power**）技术或称**DFACTS**（**Distributed FACTS**）技术，是在**FACTS**各项成熟技术的基础上发展起来的电能质量控制新技术。

• **DFACTS** 设备

静止无功补偿器（ DSVC ）	有源滤波器（ APF ）
静止同步补偿器 （ DSTATCOM ）	固态转换开关（ SSTS ）
动态电压恢复器（ DVR ）	固态断路器（ SSCB ）
统一电能质量补偿器（ UPQC ）	超导蓄能器（ SMES ）
	电池蓄能器（ BESS ）

DFACTS设备可理解为**FACTS**设备的缩小版



0.3.2 电力电子技术的应用

■ 电子装置

- ◆ 各种电子装置一般都需要不同电压等级的直流电源供电。
- ◆ 通信设备中的程控交换机，采用全控型器件的高频开关电源。
- ◆ 大型计算机、微型计算机内部的电源都采用高频开关电源。
- ◆ 大型计算机需要不间断电源（**Uninterruptible Power Supply, UPS**）供电，**UPS**是典型的电力电子装置。



0.3.2 电力电子技术的应用

■ 家用电器

- ◆ 节能灯采用电力电子装置。
- ◆ 变频空调器是家用电器中应用电力电子技术的典型例子。
- ◆ 电视机、音响设备、家用计算机等电子设备的电源部分也都需要电力电子技术。
- ◆ 洗衣机、电冰箱、微波炉等电器也应用了电力电子技术。



0.3.2 电力电子技术的应用

■ 其他

- ◆ 航天飞行器中的各种电子仪器所需各种电源。
- ◆ 超导储能是未来的一种储能方式，它需要强大的直流电源供电。
- ◆ 抽水储能发电中大型电动机的起动和调速都需要电力电子技术。
- ◆ 科学实验或某些特殊场合所需特种电源。
- ◆ 变电所中操作系统所需交直流操作电源、蓄电池充电等都需要电力电子装置。

电力电子技术就是电源技术——王兆安



0.3.3 电力电子技术的地位

- ◆ 电力电子技术的应用已经深入到国民经济的各个领域。
- ◆ 至2003年，发达国家在用户最终使用的电能中有75%以上至少经过一次电力电子变流装置的处理，不久将达90%以上
- ◆ 电力电子技术是智能电网在技术上的主要驱动力。
- ◆ 电力电子技术促进了半导体行业的进步。
- ◆ 电力电子技术实现了大规模节能。
- ◆ 电力电子技术在环境保护中作用巨大。
- ◆ 电力电子技术是可再生能源发电的重要技术支撑，是世界各国未来能源战略的重要组成部分。

电力电子技术就是电源技术
电力电子技术就是节能技术



我国高压直流输电的发展概况

- 1、1987年浙江宁波大碶镇——舟山鳌头浦主要用于向舟山群岛供电
输电参数： $\pm 100\text{kV}$ ，100MW，55 km (其中水下电缆12km)
全部由我国自行设计、制造、施工、调试和运行
- 2、1989年葛洲坝——上海南桥奉贤县邹桥乡境内
(接地点在芦潮港)瑞士ABB、德国Siemens公司共同设计施工
输电参数： $\pm 500\text{kV}$ ，1200MW，1047 km
- 3、2001年广西天生桥水电站——广州Siemens设计施工
2000年12月底单极投产，2001年6月26日双极投产
输电参数： $\pm 500\text{kV}$ ，1800MW，960多 km
- 4、2003年上海芦潮港——嵊泗
输电参数： $\pm 50\text{kV}$ ，60MW双极，61km
是我国自己制造的另一项小功率跨海直流输电试验工程。

嵊泗县电网与舟山本岛电网无联络，主电源由上海芦潮港向舟山嵊泗县供电（宝钢矿石码头）

南汇变电所110kV交流

-架空线-芦潮港-直流-嵊泗-35kV交流



我国高压直流输电的发展概况

5、2003年三峡——常州郑平

输电参数：± 500kV，3000MW，860 km

6、2004年三峡——广东惠州

2004.2.7.单极投产，2004.6.6.双极投产

输电参数：± 500kV，3kA，3000MW，962 km

实现了华中电网与南方电网的互联

国家电网

7、2004年贵州安顺——广东肇庆

2004.5.31.单极（极2）投产，2004.9.20.双极投产

输电参数：± 500kV，3kA，3000MW，940km

西门子总包并提供主要设备。30%的可控硅阀片，92%的阀组件组装和试验，8台换流变压器和2台平波电抗器由中方企业完成

西门子输配电集团是全球领先的电子和电气工程公司之一



我国高压直流输电的发展概况

8、2006年 三峡右岸——上海青浦华新

12月双极投产

输电参数：**± 500kV，3kA，3GW，1040km**

主设备国产化率达 **70%**

9、2007年 贵州兴仁——广东深圳宝安

6月单极投产，12月双极投产。

输电参数：**± 500kV，3kA，3GW，1194km**

综合自主化率 **70%以上**



我国高压直流输电的发展概况

10、2010年云-广±800kV特高压直流输电工程

2009年12月单极投产，2010年6月双极投产。

输电参数：± 800kV，1373km，额定输送功率5GW

世界上第一个±800千伏特高压直流输电工程。

是迄今世界直流输电领域电压等级最高的项目，也是我国特高压直流输电自主化示范工程。工程西起云南省楚雄州禄丰县，东至广东省广州增城市，途经云南、广西、广东三省（区）。工程包括楚雄换流站、穗东换流站、楚雄-穗东直流线路、接地极及接地极线路等五大部分。



我国高压直流输电的发展概况

11、2010年向家坝-上海±800kV特高压直流输电示范工程

7月8日双极投运

输电参数：± 800kV，4kA，1907km，

额定输送功率6.4GW，最大连续输送功率7.2GW

特高压直流工程采用双极、每极两个十二脉动换流器串联接线，输送容量、送电距离和工程量均是±500kV直流工程的两倍以上。工程共需换流变压器56台，平波电抗器20台，换流阀96个，晶闸管5794只，控制保护屏柜832面；导地线5.9万吨，铁塔材料23万吨，瓷绝缘子72万片，合成绝缘子2万支。

承担金沙江下游大型水电基地的送出任务，起于四川宜宾复龙换流站，止于上海奉贤换流站，途经四川、重庆、湖北、湖南、安徽、浙江、江苏、上海等8省市，四次跨越长江。

我国自主研发、自主设计和自主建设的，世界上电压等级最高、输送容量最大、送电距离最远、技术水平最先进的直流输电工程，是我国能源领域取得的世界级创新成果，代表了当今世界高压直流输电技术的最高水平。工程由国家电网公司负责建设。

特高压直流输电示范工程投运后，每年可向上海输送320亿千瓦时的清洁电能，最大输送功率约占上海高峰负荷的1/3（2010.8.12，上海用电负荷达到2621.2万千瓦），可节省原煤1500万吨，减排二氧化碳超过3000万吨。工程的成功建设系统验证了特高压直流输电的技术可行性、设备可靠性、系统安全性和环境友好性，是国家电网公司继特高压交流试验示范工程成功投产后的又一重大成果。

特高压直流工程单位走廊输电能力约为±500kV直流工程的1.5倍，单位长度单位容量线路电阻损耗约为±500kV直流工程的40%。工程总投资为232.74亿元，每千瓦每公里造价1.91元/(千瓦·公里)，比±500kV直流工程（三沪工程）每千瓦每公里造价2.16元/(千瓦·公里)降低11.6%，具有明显的技术经济优越性；两端换流站总投资为110.38亿元，单位输送容量造价1725元/千瓦，相比±500kV直流工程（三沪工程）单位输送容量造价1680元/千瓦仅增加2.7%，基本达到同等造价水平。

我国已建、在建、获路条特高压工程一览



已经投运的特高压

中国第一条特高压交流输电线路：

晋东南—南阳—荆门 1000kV 特高压交流试验示范工程

中国第二条特高压输电线路：

四川(向家坝) —上海±800kV 特高压直流输电示范工程

±800kV锦屏 — 苏南特高压直流工程(2009年开工, 2012.5.竣工, 2013年投运)

±800kV糯扎渡 — 广东特高压直流工程 (2011年开工, 2013年投运)

±800kV哈密南 — 郑州特高压直流工程 (2012.5.开, 2014.1.27.投运)

在建特高压

福建 — 浙江 1000kV 特高压交流输变电工程

溪洛渡—浙西±800kV 特高压直流输电工程

获“路条”特高压

锡盟 — 南京 1000kV 特高压交流输电工程 2014.7.12 获“路条”

准东 — 四川±1100kV 特高压直流工程 2014.1.10 获“路条”



我国高压直流输电的发展概况

背靠背换流站

1、灵宝背靠背换流站2005年7月3日正式投入生产

参数：**360MW**（单极），**120kV**，**3000A**

我国第一个“全国产化”的大型直流联网工程

河南三门峡灵宝焦村镇(地处豫、陕、晋三省交界处的黄河之滨)

灵宝背靠背换流站成功实现了西北(**330kV**)—华中(**220kV**)联网，也实现了全国主要电网之间的互联

[国家电网](#)



我国高压直流输电的发展概况

背靠背换流站

2、高岭背靠背换流站**2008年11月25日**竣工并投入商业运行（葫芦岛市）

500kV，一期工程**2×0.75GW**（世界上单个换流容量最大的背靠背

换流站工程，也是东北第一个**500**千伏直流输电工程）

自主设计，全部国产化设备

此前东北电网和华北电网处于交流互联状态。特高压交流试验示范工程投运后，华中电网与华北电网将实现交流同步强联网，东北、华北和华中电网实现交流同步电网互联。若其中一个电网发生振荡，相连的两个电网都会受到影响。高岭换流站投运后，通过直流互联的两个电网只交换功率，不相互影响，能起到隔离故障的作用。因此，东北、华北非同步直流联网的建成，对确保特高压工程投运后国家电网稳定运行非常重要。

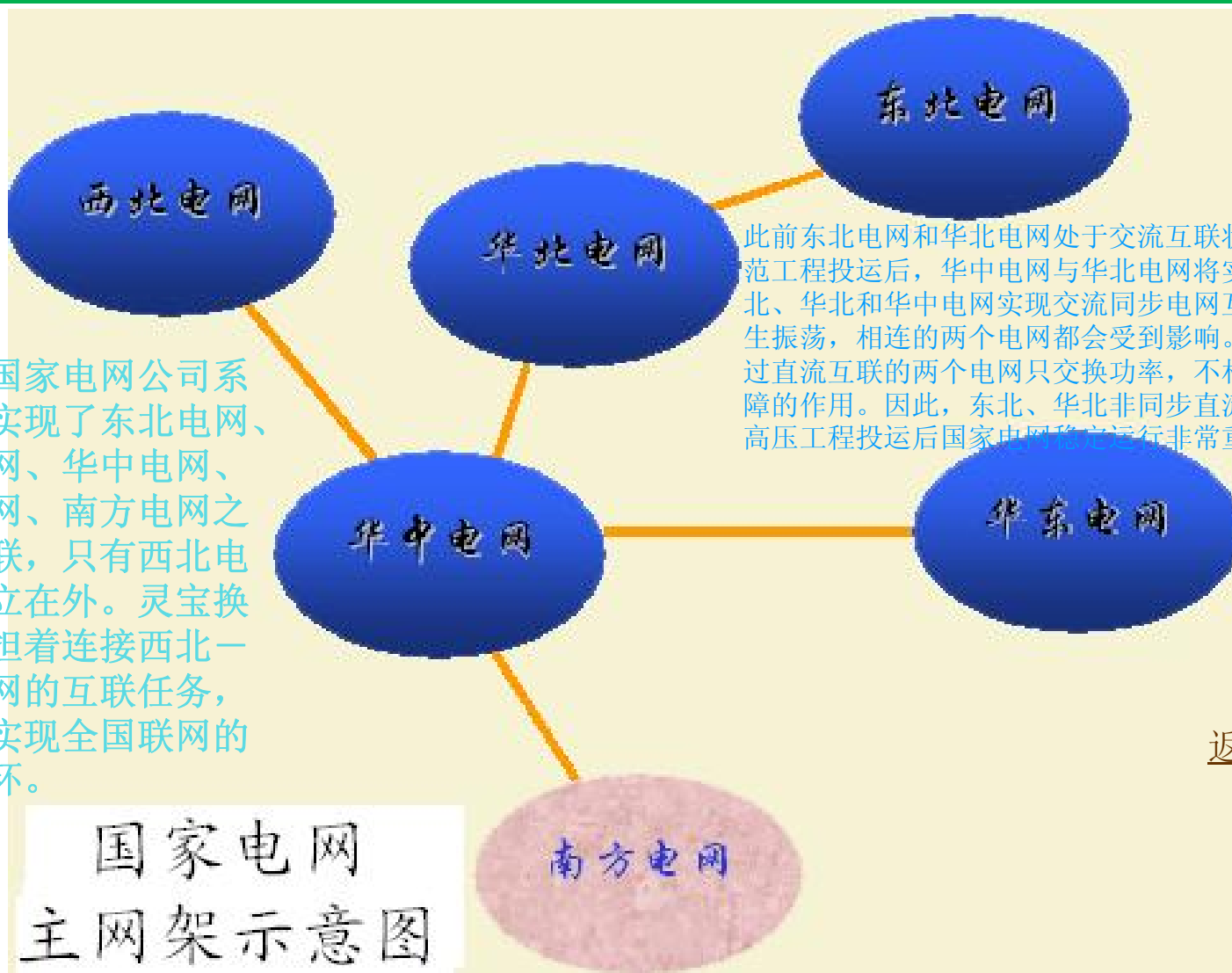
[国家电网](#)

3、邯郸-新乡背靠背换流站

提高华北-华中电网间的电力输送能力。

[返回HVDC](#)

两家电网公司： 国家电网公司（东北、西北、华北、华东、华中、新疆、山东、福建、四川）
南方电网公司（广东、广西、云南、贵州、海南）



国家电网
主网架示意图

[返回三峡-广东惠州](#)

[返回灵宝背靠背](#)

[返回高岭背靠背](#)



