

# 高压直流输电 (HVDC)

---

# 内容

- 1、高压直流输电的发展
- 2、高压直流输电工程的特点
- 3、高压直流输电工程的系统构成
- 4、高压直流输电系统构成方式
- 5、中国的高压直流输电工程

# 一、HVDC的发展

- **电力技术的发展是从直流电开始的，早期的直流输电是从直流电源送往直流负荷，不需要经过换流。**
- **1882年在德国建成的2kV、1.5kW、57km向慕尼黑展览会的送电工程。**

- **采用直流输电，必须解决换流问题。因此，直流输电的发展与换流技术的发展有密切的联系。**
- **直流输电的发展可分为以下几个时期：**

# 1、汞弧阀换流时期

- 1901年发明的汞弧整流管只能用于整流，不能逆变。
- 1928年研制成功了具有栅极控制能力的汞弧阀，它不但可以用于整流，而且还可以进行逆变。大功率汞弧阀的问世使直流输电成为现实。
- 但是，汞弧阀制造技术复杂、价格昂贵、逆弧故障率高，可靠性低、运行维护不方便，这些使得直流输电的发展受到限制。

## 2、晶闸管换流时期

- 20世纪70年代以后，电力电子技术与微电子技术的发展，高压大功率晶闸管的问世，晶闸管换流阀和微机控制技术在直流输电工程中的应用，这些进步有效地促进了直流输电技术的发展。
- 晶闸管换流阀比汞弧阀有明显的优势，以后所建的直流工程均采用晶闸管换流阀。

### 3、新型半导体换流设备的应用

- 20世纪90年代以后，新型半导体器件绝缘栅双极晶体管（IGBT）得到广泛应用。
- 1997年3月，世界第一个采用IGBT组成电压源换流器的直流输电工业性试验工程在瑞典中部投入运行。

- 由于IGBT单个元件的功率小，损耗大，不利于大型直流输电工程采用，新型集成门极换流晶闸管IGCT和大功率碳化硅元件具有电压高、通流能力强、损耗低、体积小、可靠性高，并且具有自关断能力。因此，这些新型的半导体器件将会取代普通晶闸管，将在高压直流输电的发展中起到关键的推动作用。



# HVDC的发展

## HVDC技术的发展历史

悬挂式可控硅阀, 150kV/914A

采用微型机的控制系统

第一个可控硅阀, 50kV/200A

用作监控的显示器

汞弧整流器, 50kV/200A

真空管控制装置

HVDC技术的发展



图5

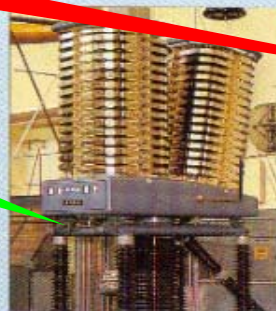


图3

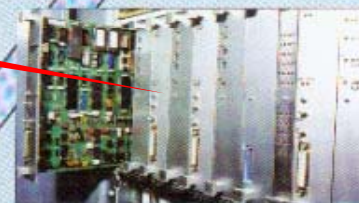


图6

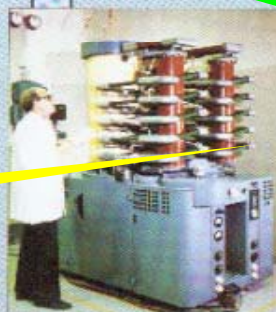


图1



图4

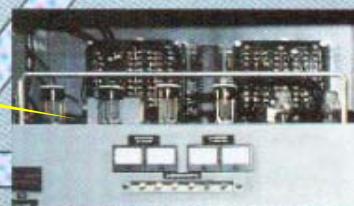


图2

## 二、直流输电工程的特点

- 与高压交流输电相比较，直流输电具有以下优点：
- 1、输送相同功率时，线路造价低；
- 2、线路损耗小；
- 3、适宜于海底输电；
- 4、没有系统稳定问题；
- 5、能限制系统的短路电流；
- 6、调节速度快，运行可靠；
- 7、实现交流系统的异步连接；
- 8、直流输电可方便的进行分期建设和增容扩建，有利于发挥投资效益。

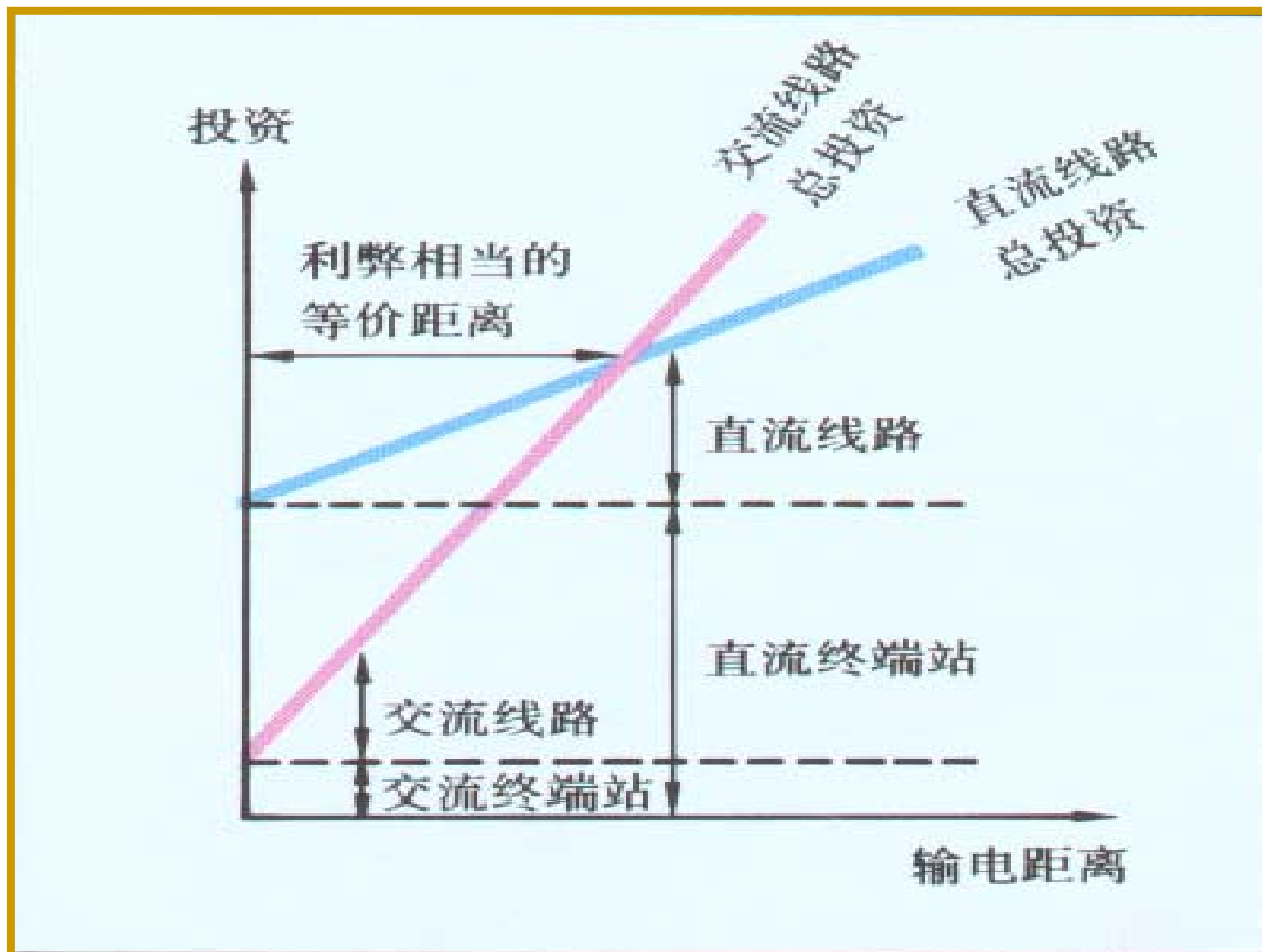
# 直流输电工程的缺点

- 与高压交流输电相比较，直流输电具有以下缺点：
  - 1、换流站的设备较昂贵；
  - 2、换流装置要消耗大量的无功功率；
  - 3、产生谐波影响；
  - 4、换流装置几乎没有过载能力；
  - 5、缺乏高压直流开关；
  - 6、直流输电利用大地或海水为回路带来问题；
  - 7、直流输电线路难于引出分支线路，绝大部分只用于端对端送电。

## 直流输电应用的场合：

- 1、远距离大功率输电；
- 2、海底电缆送电；
- 3、不同频率或同频率非周期运行的交流系统之间的联络；
- 4、用地下电缆向大城市供电；
- 5、配合新能源输电；

## 高压直流输电系统的经济优势：等价距离

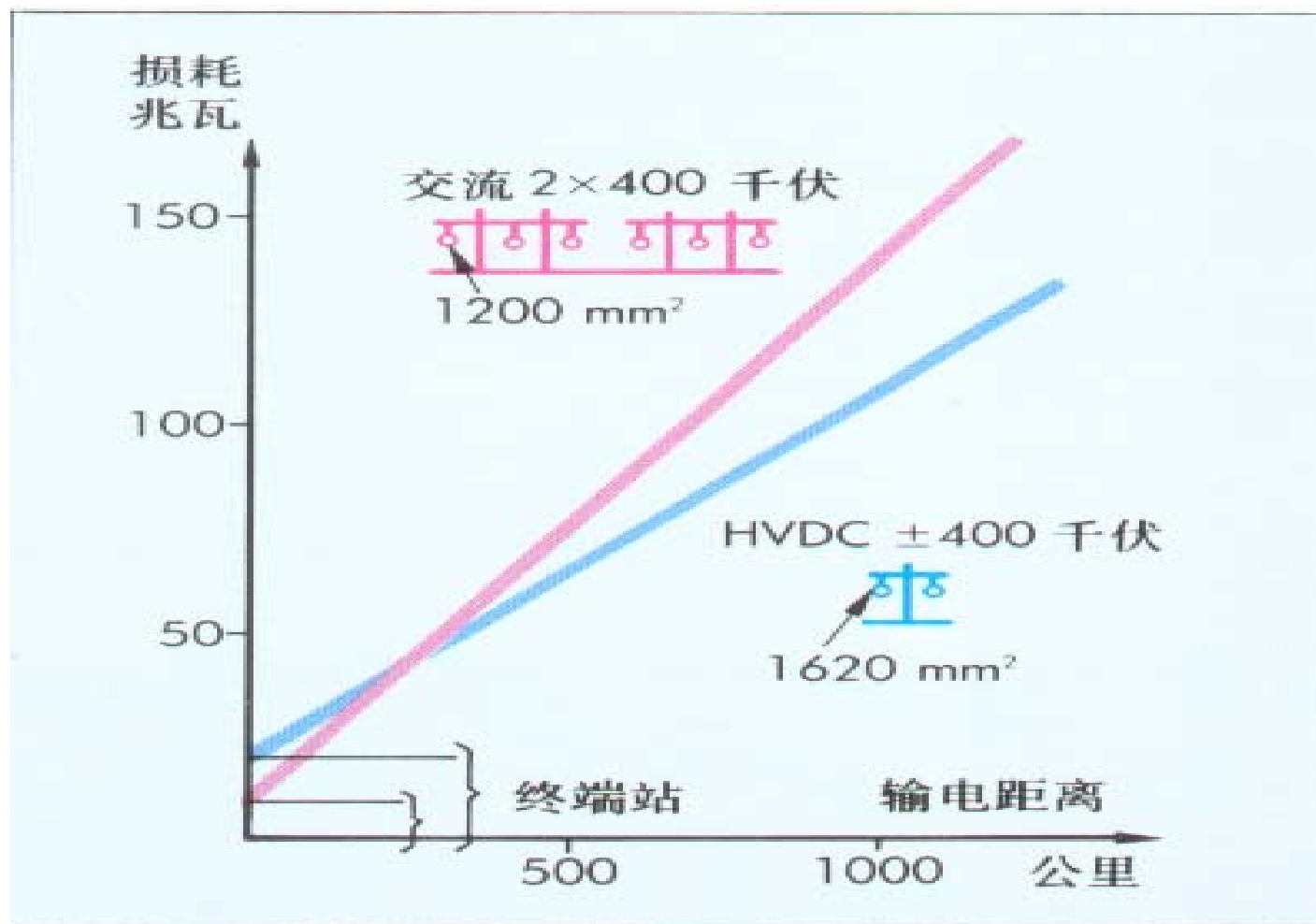


总投资与线路距离的关系

## 高压直流输电系统的经济优势：等价距离

- 直流输电线造价低于交流输电线路但换流站造价却比交流变电站高得多。一般认为架空线路超过600-800km，电缆线路超过40-60km直流输电较交流输电经济。
- 随着高电压大容量可控硅及控制保护技术的发展，换流设备造价逐渐降低，等价距离缩短，使直流输电近年来发展较快。
- 我国葛洲坝—上海1100km。

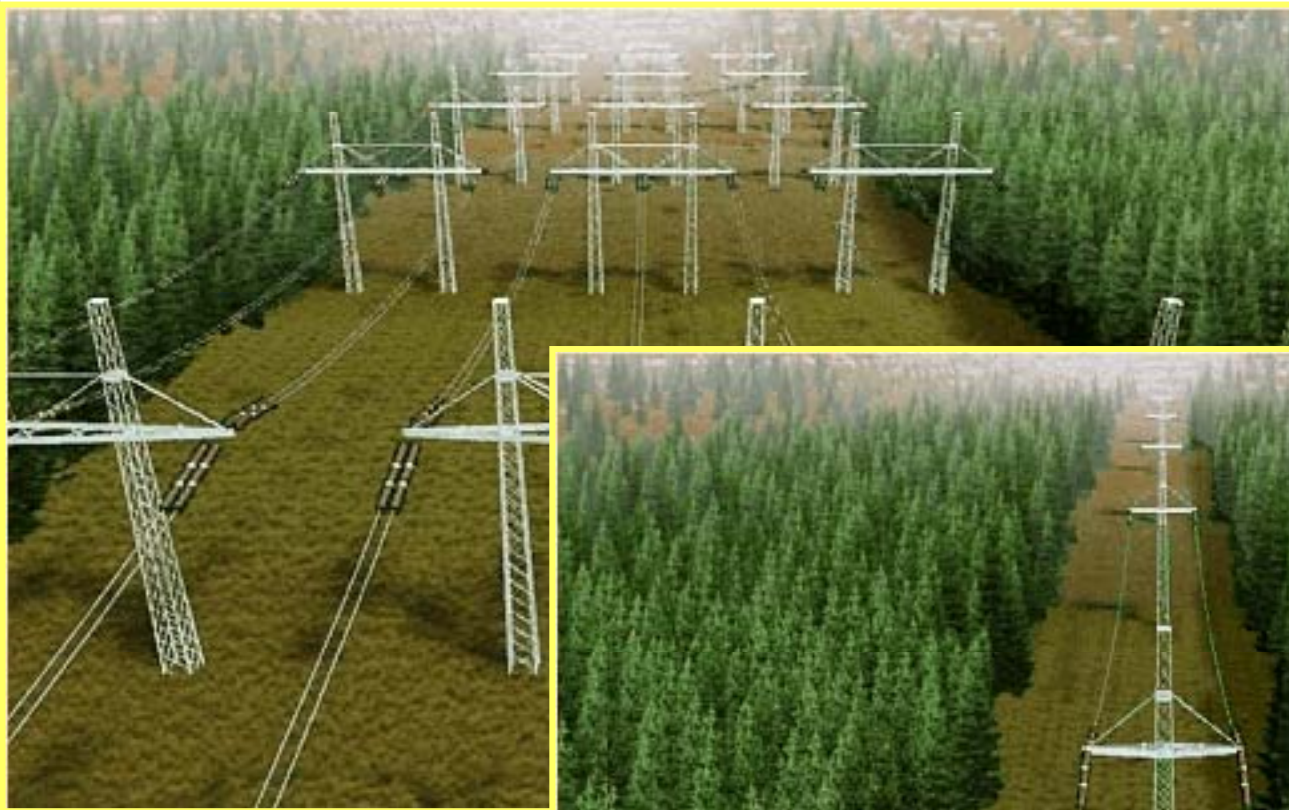
## 高压直流输电系统的经济优势：线损



架空输电线路的损耗。输电容量1200兆瓦时，AC与DC输电的比较。



## 高压直流输电系统的经济优势：环境





### 三、HVDC系统的组成

- 三相电源
- 换流站
- 输电电缆或者架空线
- 换流站
- 交流电网

# HVDC系统的组成

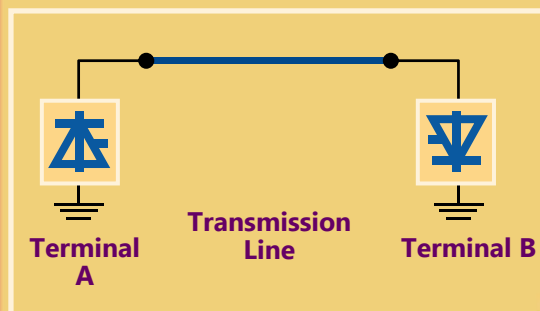
- **高压直流输电的主要设备是两个换流站和直流输电线。两个换流站分别与两端的交流系统相连接。**
- **HVDC的核心有两个：整流与逆变**

# HVDC系统的组成

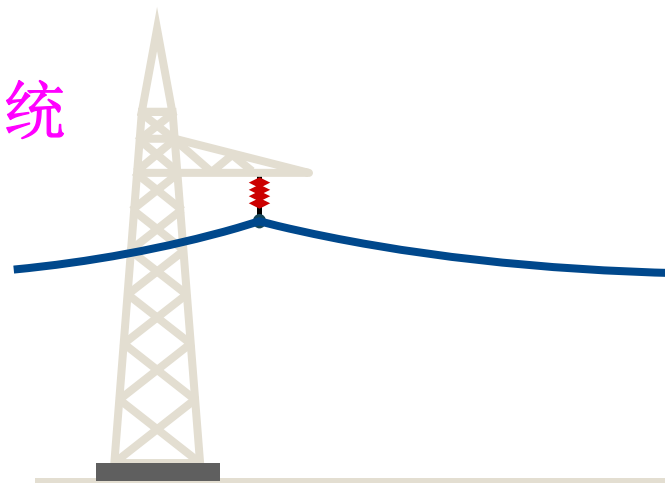
- **换流站的主要设备包括换流器、换流变压器、平波电抗器、交流滤波器、直流避雷器及控制保护设备等。**
- **换流器又称换流阀是换流站的关键设备，其功能是实现整流和逆变。目前换流器多数采用晶闸管可控硅整流管)组成三相桥式整流作为基本单元，称为换流桥。一般由两个或多个换流桥组成换流系统，实现交流变直流、直流变交流的功能。**

## 四、HVDC系统构成方式

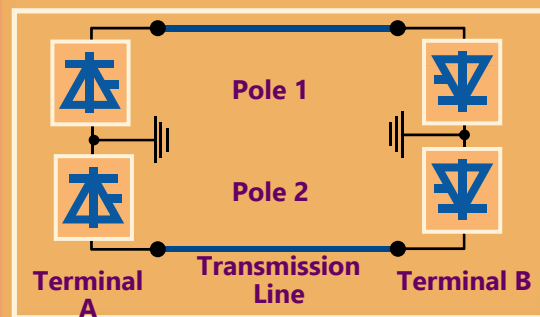
### Monopolar



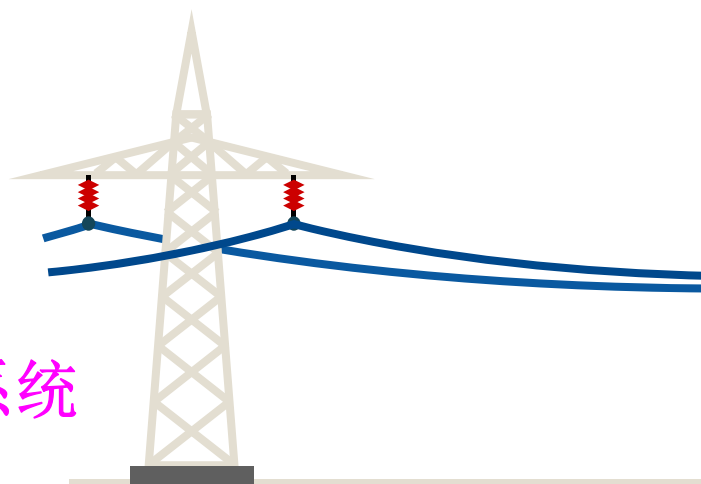
单极系统



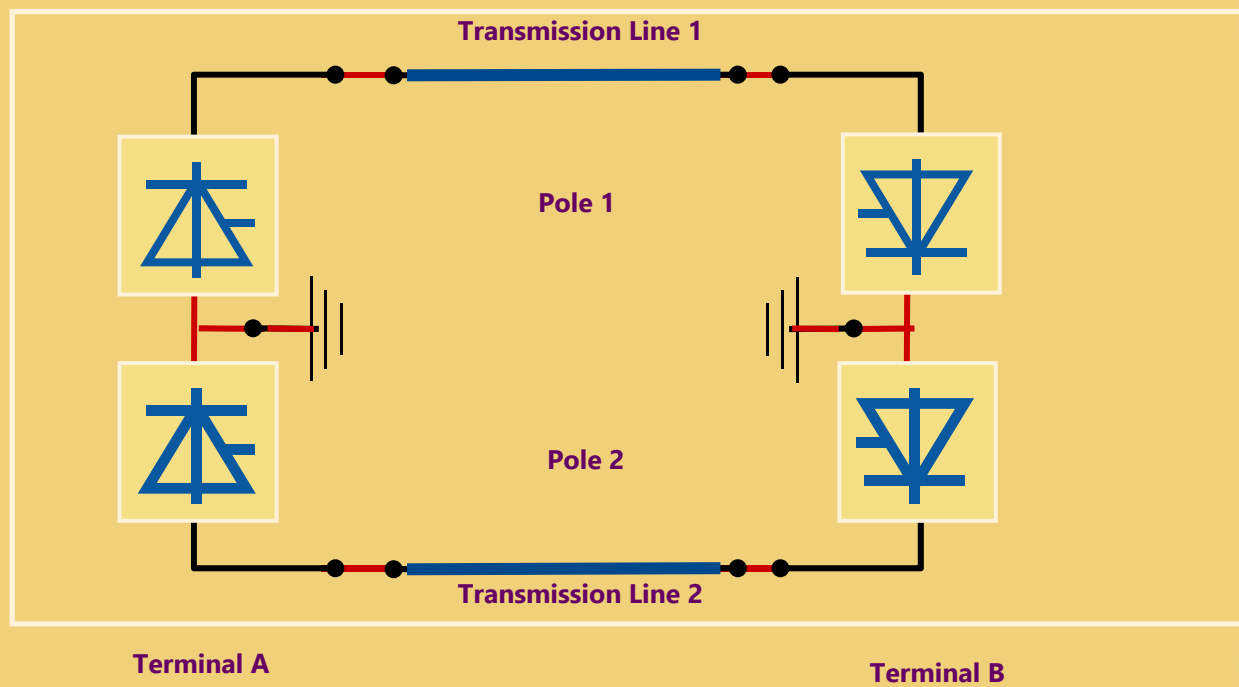
### Bipolar



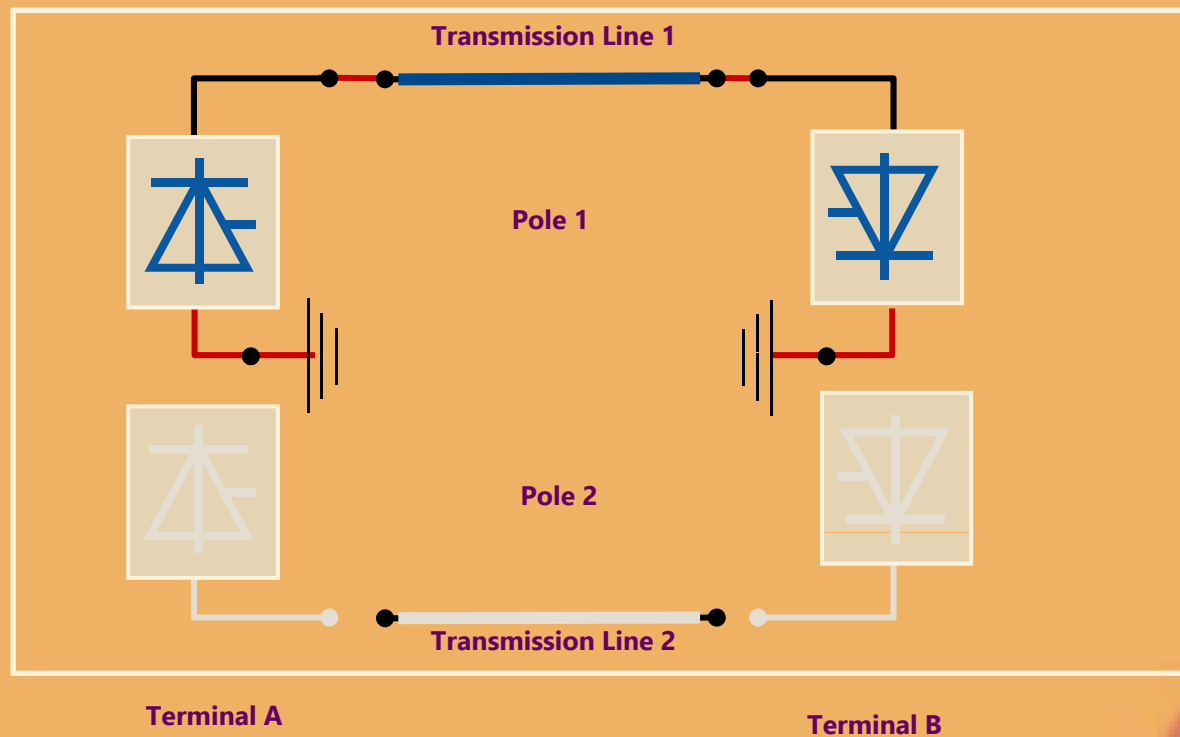
双极系统



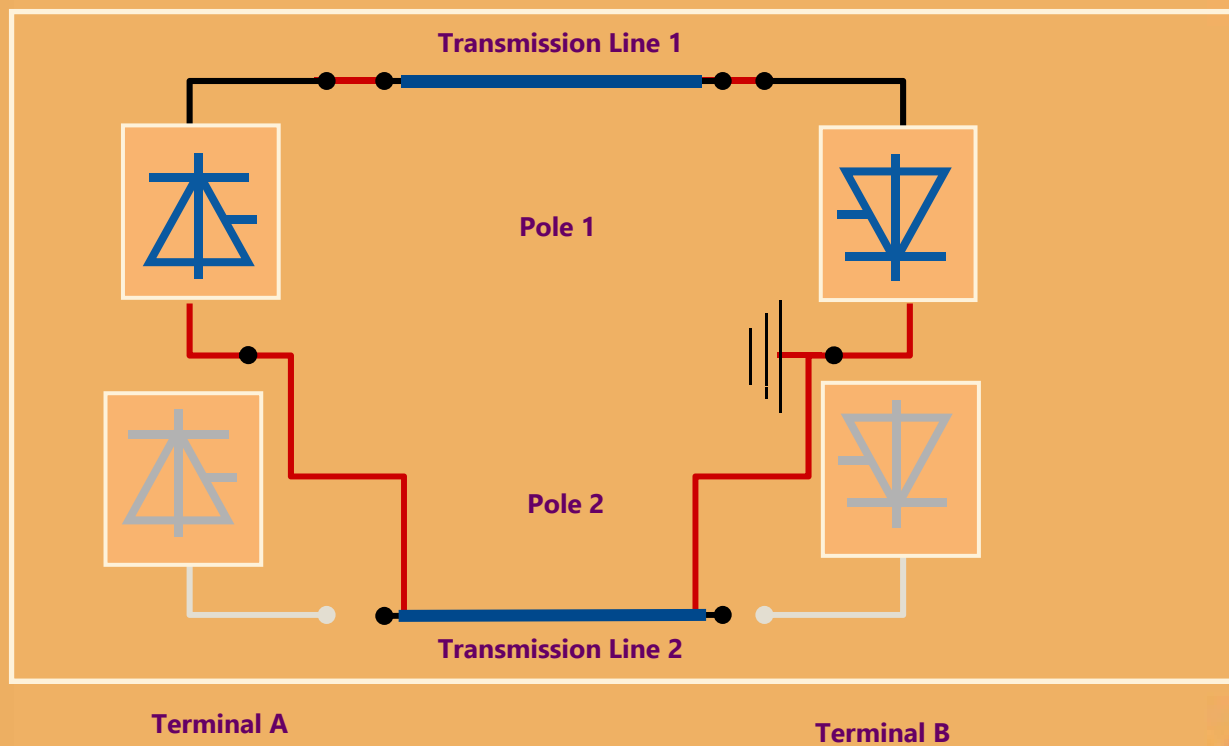
## 双极系统：双极运行方式



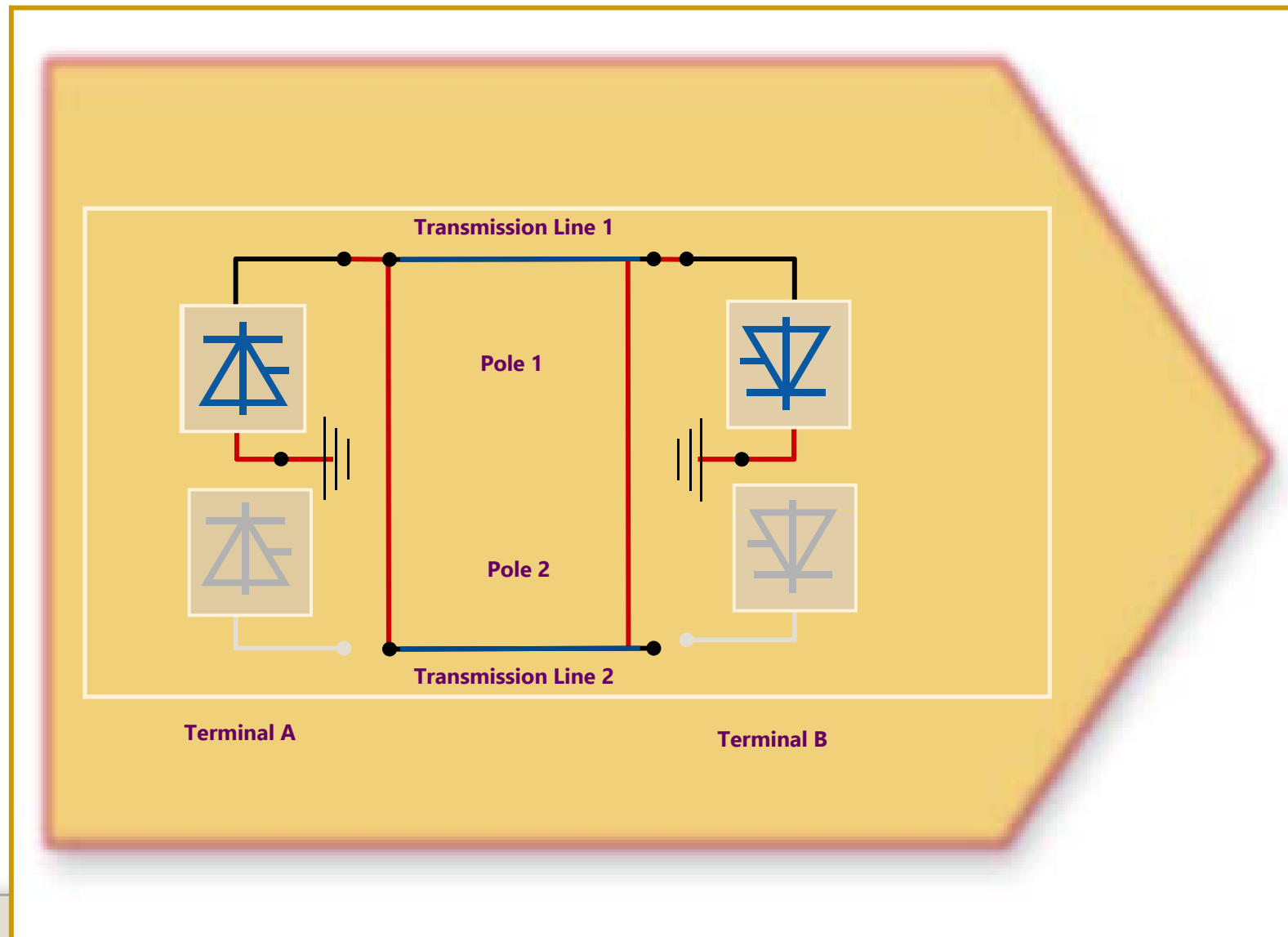
## 双极系统：单极运行、大地回路方式



## 双极系统：单极运行、金属回路方式



## 双极系统：单极双线并联运行、大地回路方式

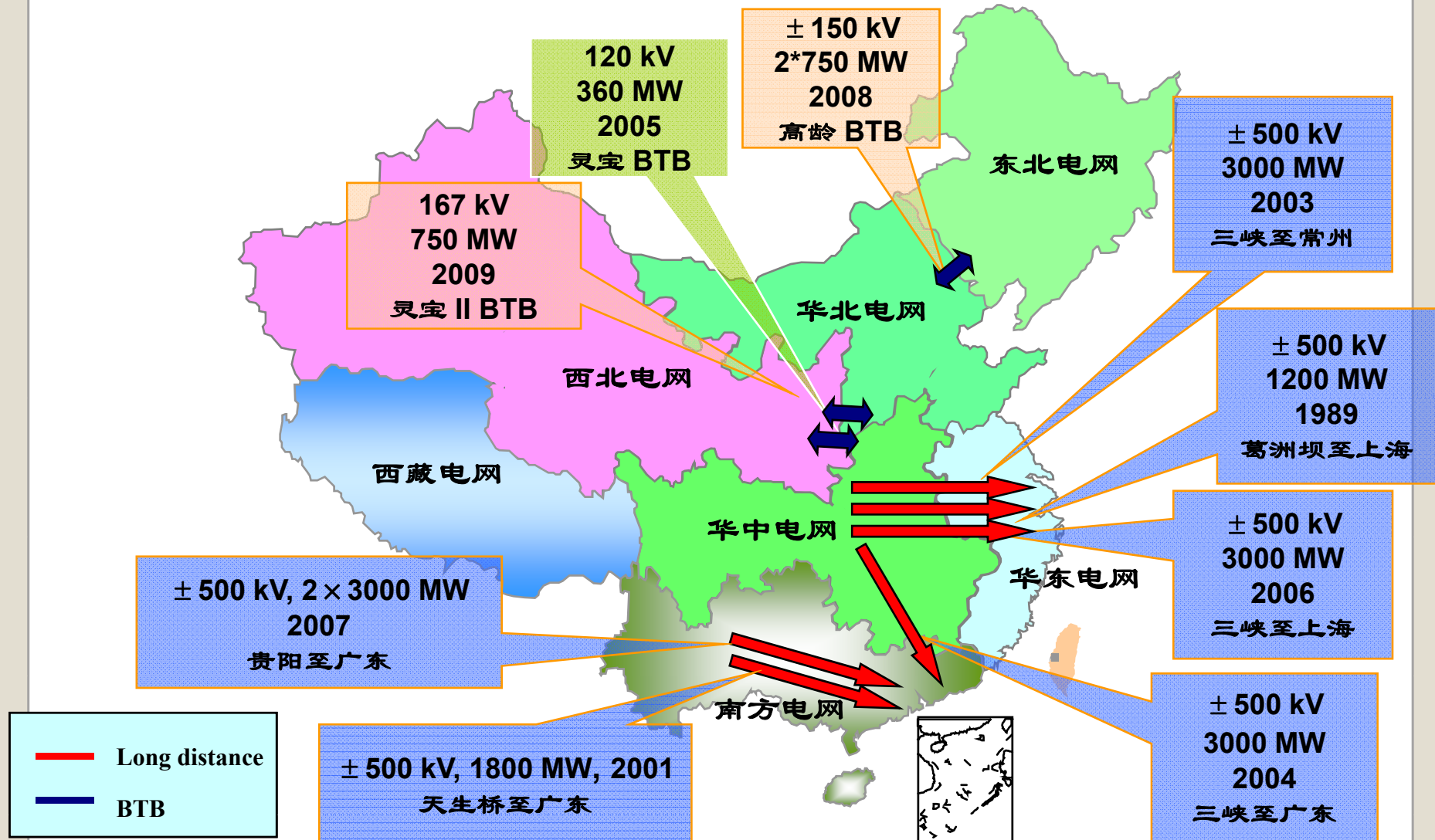




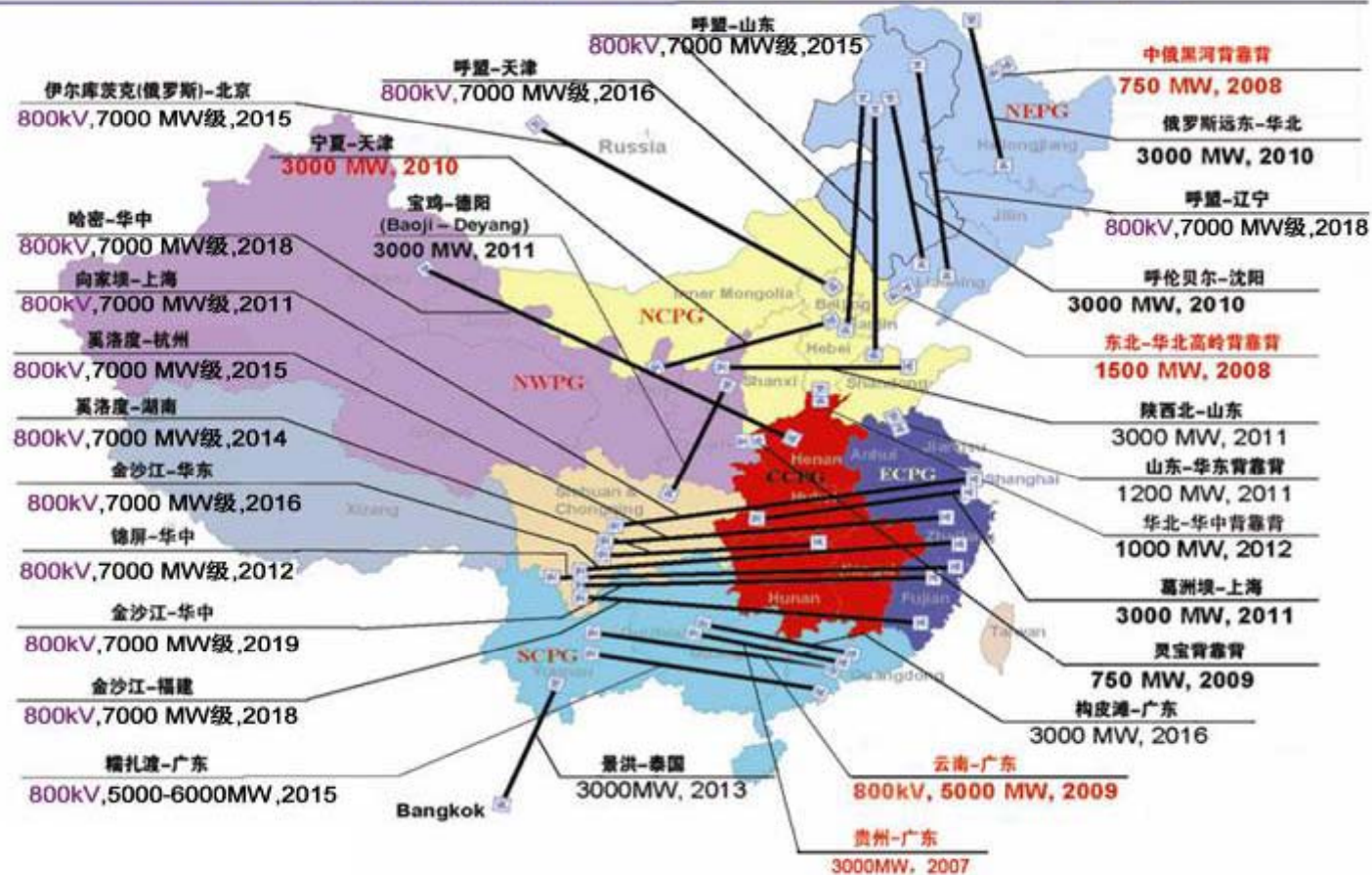
## 五、我国的HVDC工程

- 宁波—舟山群岛 (100 kV, 50 MW, 1988年投运)
- 上海—嵊泗群岛 (±50KV, 60MW, 2002年投运)
- 葛洲坝—上海 (±500 kV, 1200 MW, 1989年投运)
- 天生桥—广州 (±500 kV, 1800 MW, 2001年双极投运)
- 三峡左岸—常州 (±500 kV, 3000 MW, 2003年投运)
- 三峡—广东 (±500 kV, 3000 MW, 2004年投运)
- 贵州—广东 (±500 kV, 3000 MW, 2004年投运)
- 灵宝背靠背 (西北—华中联网工程, 2005年投运)

# 我国正在运行的高压直流输电工程



## 2020年前中国高压直流输电工程项目计划



到2020年，我国预计将建设的直流输电工程达50项左右，其中包括30多个特高压工程，总投资达数千亿。