

概念.....	3
优点缺点 对比 .....	3
<b>适用范围</b> .....	4
高压直流输电发展三个阶段.....	4
直流输电的应用.....	4
直流输电系统的构成、类型.....	5
采用大地回路的优缺点.....	5
直流电缆具有什么优点.....	6
工程目前.....	6
输电线路与交流输电线路的异同点.....	7
换流器都将从系统吸收无功功率.....	8
主要设备.....	8
谐波特点.....	9
滤波器分类及滤波特点: .....	9
直流电抗器的作用是什么? .....	10
7: 交流滤波器接入系统的方式有那些? .....	10
8.交流滤波器的功能是什么? 电路类型有哪些? 主要参数有哪些? .....	10
高压电容器.....	11
平波电抗器的形式分类及其作用.....	11
(五) 交流滤波器与母线的 4 种接线方式比较: .....	11
换流变压器作用及其与一般电力变压器不同特点.....	11
6.换流变压器的功能是什么? 在哪些方面与电力变压器不同? 主要参数有哪些? .....	12
控制方式.....	13
功率因数.....	14
3: 对高压直流输电控制系统的基本要求有哪些? .....	14
24. 换流变的分接头控制的目的是什么? 控制策略有哪两大类? .....	15
1. 基本控制功能: .....	16
<b>触发延迟角, 换相重叠角, 触发超前角, 熄弧角的概念</b> .....	16
3. 延迟角为什么不能太大也不能太小?.....	17
4. 换相失败的原理是怎样的? 换相失败的解决方法有哪些? .....	17
3. 对直流输电的基本要求: .....	17

画出 BTB 方式直流输电原理接线图.....	19
<b>换流阀</b> .....	21
1.两端直流输电系统怎样 <b>构成</b> 的，有哪些主要部分? .....	21
过电压 <b>保护装置</b> .....	21
<b>超高压直流输电的故障</b> 保护系统.....	23
柔性直流输电.....	25

## 概念

1、**高压直流输电**，是利用稳定的直流电具有无感抗，容抗也不起作用，无同步问题等优点而采用的大功率远距离直流输电。

1 高压直流输电**概念**：

高压直流输电是交流-直流-交流形式的电力电子换流电路，由将交流电变换为直流电的整流器、高压直流输电线路及将直流电变换为交流电的逆变器三部分组成。

## 优点缺点 对比

3.直流输电的**优点**是什么？

- 直流输电架空线路只需正负两极导线、杆塔结构简单、线路造价低、损耗小；
- 直流电缆线路输送容量大、造价低、损耗小、不易老化、寿命长，且输送举例不受限制；
- 直流输电不在交流输电的稳定问题，有利于远距离大容量送电；
- 采用直流输电实现电力系统之间的非同步联网；
- 直流输电输送的有功功率和换流器消耗的无功功率均可由控制系统进行控制，可以改善交流系统的运行性能；
- 在直流电的作用下，只有电阻起作用，电感电容均不起作用，可很好的利用大地这个良好的导体；
- 直流输电可方便进行分期建设、增容扩建，有利于发挥投资效益；
- 输送的有功、无功功率可以手动或自动方式进行快速控制，有利于电网的经济运行合理代化管理。

优点：

- 输送相同功率时，线路的造价低；线路有功损耗小；适合海下输电；不受系统稳定极限的限制；直联联网对电网间的干扰小；直流输电的接入不会增加原有电力系统的短路电流量；输送功率的大小和方向可以快速；制和调节，运行可靠

一个**独特优点**：输送功率的大小不受各端交流系统电压的相位变化以及频率变化的影响，而且还能方便加以控制，其响应速度要比交流发电机组快得多。因此，可以利用附加的直流功率控制来承担或参与交流系统的频率调节，以改善交流系统的运行性能和供电质量。

在正常运行时，定功率调节器的工作是为满足额定功率传输。

而当交流系统频率偏差超过整定值时，频率控制则参与作用，改变传输功率的大小，以援助故障的交流系统。

为什么输送相同功率时，直流输电线路比交流输电线路**造价低**？

答：（1）对于架空线路，交流输电通常采用了三根导线而直流只需一根或二根导线，在输送同功率的条件下，直流输电可节省大量的有色金、钢材、绝缘子和线路金具，同时也可以减少大量的运输安装费。（2）直流输电对其线路走廊，铁搭高度，占地面积等方面比交流输电优越。（3）对于电缆线路，直流电缆与交流电缆相比，其投资费和运行费都更为经济。

交、直流**两种输电方式**，就其**造价**而言，各具如下特色：

(1)输送容量确定后，直流换流站的规模随之确定，其投资也即固定下来，距离的增加，只与线路造价有关。交流输电则不同，随着输电距离的增加，由于稳定、过电压等要求，需要设置中间开关站。因此，对于交流输电方式，输电距离不单影响线路投资，同时也影响变电部分投资；

(2)就变电和线路两部分看，直流输电换流站投资占比重很大，而交流输电的输电线路投资占主要成分；

(3)直流输电功率损失比交流输电小得多；

(4)当输送功率增大时，直流输电可以采取提高电压、加大导线截面的办法，交流输电则往往只好增加回路数。

## 适用范围

5、高压直流输电的适用范围有哪些？

答：（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）交流系统互联或配电网增容时，作为限制短路电流的措施之一；（6）配合新能源供电。

4.直流输电的缺点是什么？

- 直流输电换流站比交流变电所的设备多、结构复杂、造价高、损害大、运行费用高、可靠性也差；
- 换流器对交流侧来说，除了负荷（在整流站）或电源（在逆变站）是一个谐波电流源以外，还是一个谐波电压源，会畸变交流电流波形，需装设交流滤波器；换流器对至直流侧来说，除了是电源（在整流站）或负荷（在逆变站）以外，它还是一个谐波电压源，它会畸变电压波形，在直流侧需装设平波电抗器合直流滤波器；
- 晶闸管换流器在进行换流时需消耗大量的无功功率，在换流站需装设无功补偿设备；
- 直流输电利用大地（海水）为回路而带来一些技术问题；
- 直流断路器没有电流过零可以利用，灭弧问题难以解决。

## 高压直流输电发展三个阶段

高压直流输电发展三个阶段的特点？

答：1 1954 年以前——试验阶段；

参数低；采用低参数汞弧阀；发展速度慢。2 1954 年~1972 年——发展阶段； 技术提高很大；直流输电具有多方面的目的（如水下传输；系统互联；远距离、大容量传输）。3 1972 年~现在——大力发展阶段； 采用可控硅阀；几乎全是超高压；单回线路的输电能力比前一阶段有了很大的增加；发展速度快。

## 直流输电的应用

5.直流输电的应用有哪些？

- 远距离大容量输电
- 电力系统联网
- 直流电缆送电

- 现有交流输电线路的增容改造
- 轻型直流输电

## 直流输电系统的构成、类型

直流输电系统的构成有哪几种：(1) 单极线路方式；(2) 双极线路方式；(3) 直流多回路方式(4) 多端直流输电

高压直流输电分成哪几种类型？

答：(1) 长距离直流输电(2) BTB 方式(背靠背)(3) 交直流并列输电方式(4) 交直流叠加输电方式(5) 三极直流输电方式

2. 两端直流输电系统的类型有哪些，系统接线方式如何？

单极系统；双极系统；背靠背系统

主要分为单极线路方式、双极线路方式两大类，具体如下：

单极线路方式：

- 1) 单极一线式：用一根空导线或者电缆，以大地或者海水作为返回线路组成的直流输电系统
- 2) 单极两线式：导线数不少于两根，所有导线同极性。

双极线路方式：1) 双极线路中性点两端接地方式 2) 双极中性点单端接地方式 3) 双极中性线方式 4) “背靠背”换流方式

高压直流输电线路按构成方式可分为哪几种？

单极线路：只有 1 极导线，一般以大地或海水作为回路

同极线路：具有两根同极性导线，同时也利用大地或海水作为回流回路

双极线路：具有两根不同极性的导线，有些采取大地(海水)回流，也有一些采用金属回流。当两极导线中的电流相等时，回路电路中就没有电流。

背靠背直流系统的主要用途是什么？有何特点？

答：主要用于两个非同步运行的交流电力系统之间的联网或送电。

特点：直流侧可选择低电压大电流，可充分利用大截面晶管的通电能力，同时直流设备也因直流电压低而使其造价也相应降低

## 采用大地回路的优缺点

9. 采用大地回路的优缺点是什么？

优点：

- 1) 比金属回路损耗小
- 2) 便于分期建设
- 3) 双极的一极故障停运后，仍可利用另一极导线和大地回路输送一半或更多的电力

缺点：

- 1) 设计技术要求比较高
- 2) 存在危及人、畜、鱼类的危险电位梯度
- 3) 对地下金属物体的电解腐蚀
- 4) 干扰其他电系统

- 5) 影响磁罗盘的读数
- 6) 影响水生物

## 直流电缆具有什么优点

8. 相对于交流电缆而言，直流电缆具有什么优点？
  - 1) 绝缘的工作电场强度高，绝缘厚度薄，电缆外径小、重量轻、柔软性好和制造安装容易
  - 2) 介质损耗和导体损耗低，载流量大。
  - 3) 没有交流磁场，有环保方面的优势

## 工程目前

6.直流输电的**工程目前**有哪些？其输送距离、输送电压等级、输送容量各为多少？两端换流站各为哪里？

早在 50 年代初，中国就已关注直流输电，当时政府派人去学习苏联的高压汞弧阀设计制造。

1978 年上海投运一条 31kV、150A、送电电缆长 9km 的直流输电试验线，累计运行 2300h。

舟山直流输电工程 输送距离 54km，输送电压等级±100kv，输送容量为 100MW，整流站在浙江省宁波附近的大碇镇，逆变站在舟山本岛的鳌头浦；

葛洲坝——南桥直流输电工程，距离 1045km，电压等级±500kv，容量 1200MW，整流站在葛洲坝水电站附近的葛洲坝换流站，逆变站在上海南桥换流站；

天生桥——广州直流输电工程，距离 960km，电压等级±500kv，容量 1800MW，整流站在天生桥水电站附近的马窝换流站，逆变站在广州的北郊换流站；

嵊泗直流输电工程，距离 66.2km，电压等级±50kv，容量 6MW，可以双向送电，整流站在上海的芦潮港换流站，逆变站在嵊泗换流站；

三峡——常州直流输电工程，距离 860km，电压等级±500kv，容量 3000MW，整流站在三峡电站附近的龙泉换流站，逆变站在江苏常州的政平换流站；

三峡——广东直流输电工程，距离 880km，电压等级±500kv，容量 3000MW，整流站在湖北荆州换流站，逆变站在广东的惠州换流站；

贵州——广东直流输电工程，距离 960km，电压等级±500kv，容量 3000MW，整流站在贵州安顺换流站，逆变站在广东的肇庆换流站；

灵宝背靠背直流输电工程，电压等级 120kv，容量 360MW，；

序号	工程名称	直流电压	送端电压	受端电压	分层接入	投产时间	额定容量 (万千瓦)
1	向家坝-上海	±800kV	500kV	500kV	否	2010	640
2	锦屏-江苏	±800kV	500kV	500kV	否	2012	720
3	哈密南-郑州	±800kV	500kV	500kV	否	2013	800
4	溪洛渡-浙西	±800kV	500kV	500kV	否	2014	800
5	宁东-浙江	±800kV	750kV	500kV	否	2016	800
6	酒泉-湖南	±800kV	750kV	500kV	否	2017	800
7	山西-江苏	±800kV	500kV	500kV	否	2017	800
8	锡盟-江苏	±800kV	500kV	1000/500kV	是	2017	1000

## 输电线路与交流输电线路的异同点

### (七) 简述直流输电线路与交流输电线路的异同点

1.导线：架空线路直流导线选择步骤与交流架空线路相同，但是在计算内容、应用的公式上略有区别；

2.绝缘子：

(1) 选型上：

- ①结构上直流绝缘子的高度和泄漏比距均比交流绝缘子大；
- ②直流绝缘子集尘效应强、污闪电压低、老化快、钢脚的电腐蚀严重等；

(2) 片数确定上：应用公示形式类似，但具体参数上有差别，直流绝缘子片数的确定参数应用直流电压、直流泄露距离等；

3.杆塔：直流杆塔因导线简单，杆塔结构、变化形式相对于交流杆塔较少，其塔间间距均应按照直流要求来设计。

4.直流电缆：

(1) 所用系统不同，直流电缆用于整流后直流输电系统中，交流电缆用于工频电力系统中；

(2) 与交流电缆相比：直流电缆在传输过程中损耗主要是导体直流电阻损耗，较小；而交流电缆损耗有线路电阻损耗、电容电抗损耗，较大；

(3) 直流电缆调节电流和功率方便；

(4) 直流电缆结构简单、造价低，且不受距离限制；

(5) 直流电缆使用安全性更高。

## 换流器都将从系统吸收无功功率

为什么换流器不管是整流还是逆变，换流器都将从系统吸收无功功率？

答：在忽略换流器的损耗时交流功率一定等于直流功率，即  $\cos \phi = \cos \alpha$ ；

当  $\alpha = 0^\circ$  时，电流的基频分量  $I_a$  与相电压  $e_a$  同相位。

有功功率  $P = E_a I_a \cos \phi$  为正，

无功功率  $Q = E_a I_a \sin \phi$  为零；

当  $\alpha = 0^\circ \nearrow 90^\circ$  时  $P$  减小， $Q$  增大；

当  $\alpha = 90^\circ$  时  $P$  为零， $Q$  增到最大；

当  $\alpha = 90^\circ \nearrow 180^\circ$  时  $P$  变为负，其绝对值增大， $Q$  仍为正，但幅值减小；

当  $\alpha = 180^\circ$  时  $P$  达到负的最大值， $Q$  为零。

所以，换流器不管是整流还是逆变，换流器都将从系统吸收无功功率

在忽略换流器的损耗时交流功率一定等于直流功率，即。

当时，电流的基频分量与相电压同相位。有功功率为正，无功功率为零；当时， $P$  减小， $Q$  增大；当时， $P=0$ ， $Q$  最大；当时， $P$  变为负值，绝对值增大， $Q$  仍为正，但幅值减小；当时， $P$  达到负的最大， $Q$  为零。所以，换流器不管是整流还是逆变，换流器都将从系统吸收无功功率。

## 主要设备

4: 换流站的主要设备有哪些？

答：换流器、换流变压器、交流断路器、直流电抗器、阻尼器、滤波器、无功补偿装置、过电压保护器、电压互感器和电流互感器、接地电阻、调节装置、继电保护装置、高频阻塞装置

除了换流器外，高压直流输电系统还需要装设其他重要设备，如：换流变压器、平波电抗器、无功补偿装置、滤波器、直流接地极、交直流开关设备、直流输电线路以及控制与保护装置、远程通信系统等



## 谐波特点

### 1. 6 脉动换流器:

#### (1) 换流器交流侧:

- ①三相电流中除了基波分量以外, 只含  $n=6k\pm 1(k=1,2,3,\dots)$  奇次谐波分量;
- ②各次谐波电流与基波电流有效值之比与谐波的次数成反比;
- ③  $6k\pm 1$  次谐波称为 6 脉动换流器交流侧的特征谐波。

#### (2) 换流器直流侧:

- ①电压  $u_d$  中只含直流和 6 倍次谐波分量;
- ②  $6k$  次谐波称为 6 脉动换流器直流侧的特征谐波。

### 2. 12 脉动换流器

#### (1) 换流器交流侧:

- ①三相电流中除了基波分量以外, 只含  $n=12k\pm 1(k=1,2,3,\dots)$  奇次谐波分量;
- ②各次谐波电流与基波电流有效值之比与谐波的次数成反比;
- ③  $12k\pm 1$  次谐波称为 12 脉动换流器交流侧的特征谐波。

#### (2) 换流器直流侧:

- ①对于 12 脉动换流器而言, 其直流侧的总电压只含有 12 倍次谐波分量
- ②  $12k$  次谐波称为 12 脉动换流器直流侧的特征谐波。

### 12. 什么是换流阀交流侧和直流侧的特征谐波和非特征谐波?

特征谐波: 一个脉波数为  $p$  的换流器, 在其直流侧产生的谐波次数为  $n=kp$ , 在其交流侧产生的谐波次数为  $n=kp\pm 1$  为特征谐波。

非特征谐波: 除特征谐波以外的所有其他各次谐波

### 13. 简述滤波器的作用。

作用:

- 1) 滤除谐波;
- 2) 提供换流器所需的无功功率

谐波的污染与危害主要表现在对电力的干扰影响, 可大致概括谐波对电力危害有以下几方面: ①旋转电动机(换流变压器)等的附加谐波损耗与发热, 缩短使用寿命; ②谐波谐振过电压, 造成电气元器件及设备的故障与损坏; ③电能计量错误。

10、谐波的污染与危害主要表现在对信号干扰方面有: ①对通信系统产生电磁干扰; ②使敏感的自动控制、保护装置误动作; ③危害到功率处理器自身的正常运行。

11、谐波抑制并联交流滤波器有常规无源交流滤波器、有源交流滤波器和连续可调交流滤波器三种型式。

谐波抑制设备通常有 1) 滤波器; 2) 平波电抗器 3) 中性点冲击电容器。

## 滤波器分类及滤波特点:

### 3. 按用途分类: 交流滤波器、直流滤波器;

按连接方式分类: 串联滤波器、并联滤波器;

按电源特性分类: 有源滤波器、无源滤波器;

按滤波的实现方式（按阻抗特性）分类：单调谐、双调谐、三调谐、高通滤波器等；

**并联滤波器与串联滤波器相比有什么优点？**

答：具有以下优点：

1) 滤波效果好；

2) 串联滤波器必须通过主电路的全部电流，并对地采用全绝缘，而并联滤波器的一端接地，通过的电流只是由它所滤除的谐波电流和一个比主电路小得多的基波电流，绝缘要求也低；

在交流情况下，并联滤波器除滤波外，其中的电容器还可以同时向换流器提供无功功率。

**直流电抗器的作用是什么？**

答：1) 减少直流侧的交流脉动分量，即起滤波作用；

2) 在最小电流运行时，使电流保持连续；

3) 当直流输电回路发生故障时能抑制电流的上升速度。

6: 双桥逆变器必须满足**哪些条件才能实现逆变？**

答：1) 外接直流电源，其极性必须与晶闸管的导通方向一致；

2) 外接交流系统，其在直流侧产生的整流电压平均值应小于直流电源电压；

3) 晶闸管的触发角  $\alpha$  应在  $90^\circ \sim 180^\circ$  的范围内连续可调。

5. HVDC **对晶闸管元件的基本要求**有哪些？

1) 耐压强度高

2) 载流能力大

3) 开通时间和电流上升率  $di/dt$  的限制

4) 关断时间和电压上升率  $dV/dt$  的限制

7 : **交流滤波器接入系统的方式**有那些？

答：1) 交流滤波器大组接换流站交流母线，或接入 3/2 串；

2) 交流滤波器大组 T 接在换流变压器进线上；

3) 交流滤波器分组接换流站交流母线，或接入 3/2 串；

4) 交流滤波器分组接换流变压器单独绕组。

8. **交流滤波器的功能**是什么？电路类型有哪些？主要参数有哪些？

换流站配置的交流滤波器有滤除换流器产生的谐波电流和向换流器提供部分基波无功两个任务。交流滤波器的配置主要应遵循的原则是：①滤波器额定电压等级一般应与换流

根据高压直流换流站常用无源滤波器的类型，按其频率阻抗特性可以分为三种类型：  
①调谐滤波器，通常调谐至一个或两个频率，最多为三个频率；②高通滤波器，在较宽的频率范围内具有相当低的阻抗；③调谐滤波器与高通滤波器的组合构成多重调谐高通滤波器。关于交流滤波器类型的介绍，详见本书第六章第五节换流站交流侧滤波。

## 高压电容器

高压电容器的主要应力：（1）最高持续运行相电压  $U_{cmax}$  （2）电容器热稳定电流  $I_{th}$   
（3）决定爬电距离的最高电压  $U_{creep}$

电抗器的主要应力：（1）最高持续运行相电压  $U_{Lmax}$  （2）电抗器热稳定电流  $I_{th}$   
（3）决定爬电距离的最高电压  $U_{creep}$

电阻器的主要应力：（1）电阻器热稳定电流  $I_{th}$  （2）决定爬电距离的最高电压  $U_{creep}$

## 平波电抗器的形式分类及其作用

分类：充油式套管、干式套管时、油气式套管式

作用：

①平波电抗器能防止由直流线路或直流开关站所产生的陡波冲击波进入阀厅，从而使换流阀免于遭受过电压应力而损坏；

②平波电抗器能平滑直流电流中的纹波，能避免在低直流功率传输时电流的断续；

③平波电抗器通过限制由快速电压变化所引起的电流变化率来降低换相失败率。

（1）作用：a) 直流电流滤波（平波）；b) 限制线路短路电流的上升率；c) 防止小电流运行时的电流断续；d) 阻断雷电波的侵入；e) 减小对沿线通讯设施的干扰；

### （五）交流滤波器与母线的 4 种接线方式比较：

（1）交流滤波器大组接换流站交流母线，或接入 3/2 串：滤波器接线及主母线可靠性高，便于交流滤波器双极间的相互备用，滤波器分组开关可选用操作频繁的负荷开关；

（2）交流滤波器大组 T 接在换流变压器进线上：滤波器按极对称排列，但不便于双极间的相互备用；

（3）交流滤波器分组直接接在换流站交流母线上（或接入 3/2 串中）：投资较省，便于交流滤波器双极间的相互备用；交流滤波器操作频繁，断路器故障率高，从而增加交流母线故障率；

（4）交流滤波器分组接换流变压器单独绕组：交流滤波器投资省，但换流变压器结构复杂，投资增加。

## 换流变压器作用及其与一般电力变压器不同特点

（1）为限制阀臂及直流母线的短路电流，短路阻抗较大；

- (2) 承受交直流电压应力、直流全压启动及极性反转应力，绝缘要求较高；
- (3) 为补偿换流变压器交流网侧电压的变化以及将触发角控制在适当的范围内，有载调压范围较大；
- (4) 由于谐波及直流偏磁的影响，换流变压器损耗大，温升及噪音都较交流变压器大；
- (5) 试验较交流变压器多了直流方面的试验：直流电压试验、直流电压局部放电试验、直流电压极性反转试验等。

参数：限制故障电流的上升率 平抑直流电流的纹波 防止直流低负荷的电流断续 平波电抗器是直流滤波器的组成部分 平波电抗器电感量的取值

## 6. 换流变压器的功能是什么？在哪些方面与电力变压器不同？主要

### 参数有哪些？

- 1) 实现交流系统与直流系统的电绝缘与隔离；
- 2) 电压变换；
- 3) 对交流电网入侵直流系统的过电压有一定的抑制作用。

换流变压器与换流阀一起实现交流电与直流电之间的相互变换。现代高压直流输电系统一般都采用每极一组 12 脉动换流器的结构，所以换流变压器还为两个串联的 6 脉动换流器之间提供 30° 的相角差，从而形成 12 脉动换流器结构。换流变压器的阻抗限制了两臂短路和直流母线上短路的故障电流，使换流阀免遭损坏。

由于换流变压器的运行与换流器的换相所造成的非线性密切相关，所以换流变压器在漏抗、绝缘、谐波、直流偏磁、有载调压和试验等方面与普通电力变压器有着不同的特点。

换流变压器特点是 1) 短路阻抗大； 2) 绝缘要求高； 3) 噪声大； 4) 损耗高； 5) 有载调压范围宽； 6) 直流偏磁严重； 7) 试验复杂；

4、换流变压器具有 4 种结构型式，即三相三绕组式、三相双绕组式、单相双绕组式和单相三绕组式。

## 控制方式

14. 直流输电系统的**分层控制方式**由哪些层次构成?

四层控制方式包括:

- 1) 总控制
- 2) 站控制
- 3) 极控制
- 4) 桥控制

15. 直流输电系统**控制系统的基本要求**:

- 1) 限制电流的最大值, 避免电流流过阀和其它载流元件出现危险的情况;
- 2) 限制电流的最小值, 避免电流间断而引起过电压;
- 3) 限制由于交流系统的波形而引起的直流电流波动;
- 4) 尽可能使功率因数保持较高的值;
- 5) 尽可能防止逆变器换相失败;
- 6) 保持线路送端电压恒定并且等于额定值;
- 7) 为控制所输送的功率, 有时则要求控制某一端的频率(功率)。

16. 直流输电系统**控制系统基本的调节手段**有哪些?

主要通过两种手段来实现:

- 1) 调节换流器的触发脉冲相位( $\alpha$ 或 $\beta$ ), 响应时间 $1\text{ms}\sim 10\text{ms}$
- 2) 调节换流变压器分接头, 响应时间 $5\text{s}\sim 6\text{s}$ 
  - (1) 换流器触发相位控制: 整流器的定触发角 $\alpha$ 控制, 逆变器定逆变角 $\beta$ 控制、定熄弧角 $\gamma$ 控制;
  - (2) 调调节换流变压器分接头改变交流电压从而调节直流端空载电压。

17. 直流输电系统在稳态正常运行方式下的运行参数主要是:

两端的直流电压、直流电流和输送功率。

18. 直流输电系统**控制的基本方式**有:

- 1) 定电流控制; 2) 定电压控制; 3) 定超前角 $\beta$ 控制; 4) 定熄弧角 $\gamma$ 控制; 5) 定延迟角 $a$ 控制; 6) 定功率控制。

1: 高压直流输电系统基本的**控制方式**有哪些?

答: 高压直流输电系统基本的控制方式有定电流控制、定电压控制、定超前角控制、定熄弧角控制和定延迟角控制。

整流器: 定电流控制, 定电压控制, 定触发角控制(最小触发角控制)

逆变器: 定熄弧角 $\gamma$ 控制, 定逆变角 $\beta$ 控制, 定电流控制, 定电压控制

换流器定功率控制: 逆变器通常为定电压, 而整流器则依据设定的功率整定值算出电流整定值, 使整流器进行定电流控制;

电流裕度法: 整流站定电流控制的电流整定值在任何时候都应该足够地大于逆变站定电流控制的电流整定值, 即, 且要保证一定的电流裕度。

19. 试指出**图7各线段**的含义, 并说明正常情况下整流站与逆变站采用的**控制方式**。

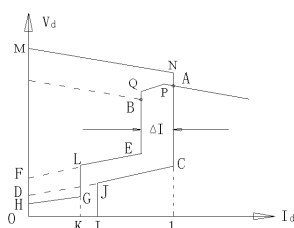
整流器各段特性

MN: 定触发角控制特性

NC: 定电流控制特性

CJ: 低电压控制的限流特性

JI: 低电压时最小电流限制



以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/728124125021006060>