



石家莊鐵道大學  
SHIJIAZHUANG TIEDAO UNIVERSITY

在线开放课程

电力系统分析

绪论

主讲：田行军

# 《电力系统分析》课程介绍



在线开放课程

## 一、传统的课程划分

- 电力系统稳态分析：正常的、相对静止的运行状态。
- 电力系统暂态分析：从一种运行状态向另一种运行状态的过渡过程

- 电力系统稳态分析
- ①电力系统的基本知识和等值网络
  - ②电力系统正常运行状况的分析和计算
  - ③电力系统有功功率-频率、无功功率-电压的控制与调整

# 《电力系统分析》课程介绍



在线开放课程

电力  
系统  
暂态  
分析

波过程—操作或雷击时的过电压(过程最短)

高电压技术

电磁暂态过程—与短路及励磁有关(过程较短)

涉及电压、电流

短路计算

对称分量法及序网概念

不对称故障的分析与计算

机电暂态过程—与动力系统有关(过程较长)

涉及功率、功角—系统振荡、  
稳定性破坏、异步运行

静稳

暂稳

# 《电力系统分析》课程介绍



在线开放课程

## 二、新平台课程：

### 电力系统稳态和短路分析知识

#### 1. 电力系统的基本概念

发、输、变、配

#### 2. 电力网元件参数及等值电路

物理元件的数学模型

#### 3. 简单电力网稳态分析与计算

功率流动、手工潮流计算



# 《电力系统分析》课程介绍



在线开放课程

## 4. 电力系统潮流的计算机算法

潮流计算的基本原理、数学模型、求解方法和计算程序框图

## 5. 有功最优分配及频率控制

如何保证低损耗、高回收

## 6. 无功功率及电压调整

如何使无功合理分布使功率损耗最小

## 7. 短路电流分析与计算

三相短路及不对称故障计算

# 《电力系统分析》相关教材



在线开放课程

## 1. 电力系统稳态分析（第四版）

东南大学 陈珏 中国电力出版社

## 2. 电力系统分析基础（易学教材）

华北电力大学 李庚银 机械工业出版社

## 3. 电力系统分析复习指导与习题精解（考研）

华北电力大学 杨淑英 中国电力出版社

...

# 如何学习？

- 👉 先修课程：电路，电机学
- 👉 听课为主，自学为辅
- 👉 书2~3遍
- 👉 及时、独立的完成作业
- 👉 理解基本概念，不要死记硬背
- 👉 多翻阅电网技术、电力系统自动化等期刊，了解新概念，专业领域的成果。

# 1. 绪论

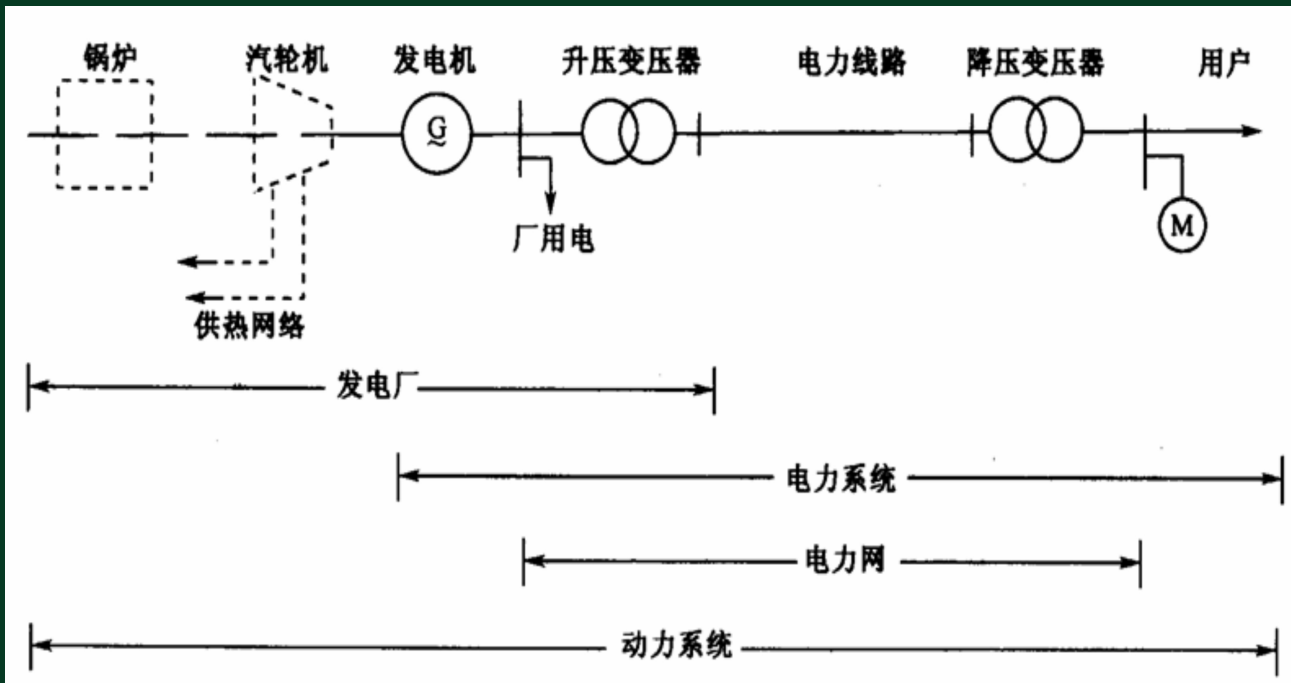
---

## ■ 主要内容

- 👉 电力系统的基本概念和组成
- 👉 电力系统运行的基本要求
- 👉 电力系统的电压等级
- 👉 电力系统的接线方式和中性点接地

# 1.1 电力系统的基本概念

## ■ 电力系统的组成和基本概念



# 1.1 电力系统的基本概念

## ■ 电力系统的组成

☞ 电力系统：**生产、输送、分配与消费**电能的系统。

包括：**发电机、电力网和用电设备**组成。

☞ 电力网：电力系统中**输送与分配**电能的部分。

☞ 动力系统：动力部分与电力系统组成的整体。

## ■ 几个基本参量

☞ 总装机容量：系统中**实际安装的发电机组额定有功功率的总和**。

单位：千瓦(kW)、兆瓦(MW)、吉瓦(GW)

# 1.1 电力系统的基本概念

**年发电量：**系统**所有发电机组全年实际发出电能的总和。**

单位：千瓦时(kWh)、兆瓦时(MWh)、吉瓦时(GWh)

**最大负荷：**规定时间内，**系统总有功功率负荷的最大值。**

单位：千瓦(kW)、兆瓦(MW)、吉瓦(GW)

**额定频率：**国内交流电力系统的额定功率为50Hz。

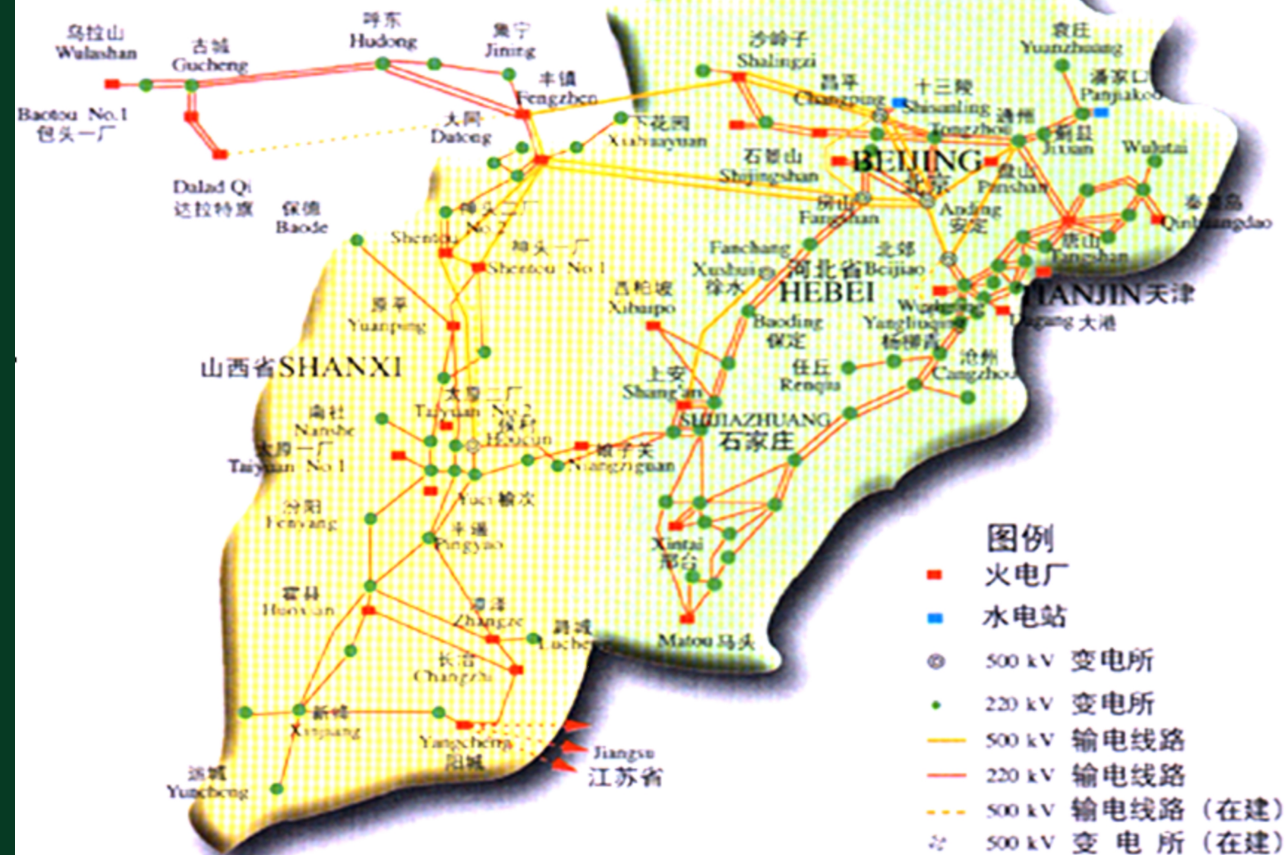
**最高电压等级：**系统**最高电压等级电力线路的额定电压。**

# 1.1 电力系统的基本概念

地理接线图：主要显示系统中发电厂、变电所的地理位置，电力线路的路径，以及它们相互间的联结。

电气接线图：主要显示系统中发电机、变压器、母线、断路器、电力线路等主要电机、电器、线路之间的电气接线。





# 1.1 电力系统的基本概念



在线开放课程

## 二、电力工业的发展史

### 1、高压输电的出现与电压等级的提高

- 1831年，法拉第发现电磁感应定律，为发电机的发明打下了基础
- 1882年，爱迪生小型电力系统，6台直流发电机，16km，59个用户，电压：直流110V。
- 1885年，制成变压器，为实现交流输电奠定了基础
- 1890年，英国从Deptford到伦敦11km的10kV线路（第一条高压交流线路）
- 1891年，德国从Lauffen到法兰克福170km的15kV线路（第一条三相交流输电线路）

# 1.1 电力系统的基本概念

► 远距离大容量输电是提高输电电压的动力。

表1 交流输电各电压等级首次出现的时间

电压等级/kV	10	50	110	220	287	380	525	735	1150
首次出现年份	1890	1907	1912	1926	1936	1952	1959	1965	1985

表2 交流输电各电压等级下输电线路的波阻抗与输送容量

系统电压 $U$ /kV	220	330	500	750	1000	2000
波阻抗/ $\Omega$	400	303	278	256	250	250
输送容量 $P$ /MW	121	360	900	2200	4000	16000

# 1.1 电力系统的基本概念

## 2、特高压(1000kV及以上)输电的出现与展望

110~220kV为高压， 330~750kV为超高压，  
1000kV及以上为特高压。

- ▶ 20世纪60年代，国际上开始特高压输电的研究；
- ▶ 1985年，苏联1228km的1150kV，但至今运行于500kV；
- ▶ 20世纪90年代，日本426km的1000kV，但至今运行于500kV

# 1.1 电力系统的基本概念

## 续前页

- ▶ 目前国际上投运的最高电压等级750kV(加、美、俄、巴西等国)；
- ▶ 2005年投运，我国西北电网750kV(青海官亭-甘肃兰州)；
- ▶ 2009年投运，我国首条1000kV(山西长治晋东南变电站-南阳-湖北荆门变电站)，645km，实现华北和华中电网互连；

# 1.1 电力系统的基本概念

3、直流输电线路、高自然功率的紧凑型线路以及灵活交流输电 (FACTS) 等多种多样输电新技术的研究, 也取得很大进展, 有的已进入工程实践。

表3 直流输电电压与输送容量

电压 $\pm U/\text{kV}$	$\pm 400$	$\pm 500$	$\pm 600$	$\pm 700$	$\pm 800$
双极容量 $P/\text{MW}$	500~1000	1000~3000	2500~4000	4000~6000	6000~9000
电流 $I/\text{A}$	600~1250	1000~3000	2100~3300	2150~4300	2800~5600



# 1.1 电力系统的基本概念



在线开放课程

## 三、我国电力工业和电力系统的发展史

### 1、基本发展史

- ▶ 1882年，英国人成立上海光电公司，中国第一个发电厂，一台12kW直流发电机
- ▶ 1911年，杨树浦发电厂动工，1913年开始发电，到1924年，共有12台发电机，装机121MW。
- ▶ 1954年，中国自行设计并施工的第一条220kV输电线路(369km)建成，从丰满水电站输送电能到虎石台变电所。这是中国输电线路建设史上的一个里程碑。

# 1.1 电力系统的基本概念



在线开放课程

- ▶ 1972年，第一条330kV输电线路建成，从刘家峡水电站至汉中。随后延伸到陕甘宁青4个省区，形成西北跨省联合电网。
- ▶ 1981年，第一条500kV输电线路投入运行，从河南平顶山姚孟火电厂到湖北武昌凤凰山变电所。中国成为世界上第8个拥有此技术的国家。
- ▶ 1989年，第一条 $\pm 500$ kV直流输电线路(葛洲坝-上海)建成投入运行，实现华中电网与华东电网互联，形成中国第一个跨大区的联合电网。



# 1.1 电力系统的基本概念

- ▶ 2005年9月，西北电网建成750kV青海官亭-甘肃兰州线超高压输变电工程(140.7km)，中国输电技术提高到了一个新的水平。
- ▶ 2008年12月，我国首条1000kV(山西长治晋东南变电站-南阳-湖北荆门变电站)投运，645km，实现华北和华中电网互连。
- ▶ 在建±800kV特高压直流输电(向家坝-上海)。

# 1.1 电力系统的基本概念

## 2、中国电力工业的现状

➤ 年发电量：1980年以来，平均年增长率9%，现世界第一。

表4 1980年以来中国年发电量

年 份	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
发电量/亿kW·h	3006	3093	3277	3514	3700	4107	4496	4973
年 份	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
发电量/亿kW·h	5451	5847	6213	6775	7542	8364	9278	10069
年 份	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
发电量/亿kW·h	10750	11600	11670	12300	13250	14020	16542	19052
年 份	2004	2005	2006	2007	2008			
发电量/亿kW·h	21943	24975	28344	32559	34669			

# 1.1 电力系统的基本概念

► 装机容量：现居世界第二位。

表5 1980年以来中国发电设备装机容量

年 份	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
装机容量/亿kW	0.659	0.691	0.724	0.764	0.801	0.871	0.938	1.029
年 份	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
装机容量/亿kW	1.155	1.266	1.379	1.515	1.665	1.829	1.999	2.172
年 份	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
装机容量/亿kW	2.322	2.46	2.6	2.94	3.14	3.3	3.57	3.91
年 份	2004	2005	2006	2007	2008			
装机容量/亿kW	4.42	5.17	6.24	7.41	7.92			

# 1.1 电力系统的基本概念

➤ 电压等级、输电线路长度和变电容量：

☞ 电压等级，除西北地区以外

交流：1000kV, 500kV, 220kV, 110kV, 35kV, 10kV

直流：±500kV

西北地区：750kV, 330kV, 220kV, 110kV, 35kV, 10kV

☞ 截至2009年7月，220kV及以上输电线路长度达到37.5万公里，跃居世界第一位。

☞ 2008年，220kV及以上变电容量13.9亿kVA。

# 1.1 电力系统的基本概念

## ▶ 电网规模不断壮大：

我国现有发电装机容量在2000MW以上的电力网11个，其中东北、华北、华东、华中区域电网装机容量均超过30000MW，华东、华中电网甚至超过40000MW，西北电网的装机容量也达到20000MW。

# 1.1 电力系统的基本概念



# 1.1 电力系统的基本概念

## ▶ 西电东送三大通道:

- ☞ 南部通道: 将贵州乌江、云南澜沧江和桂、滇、黔三省区交界的南盘江、北盘江、红水河水电站, 以及云南和贵州坑口火火电厂开发出来送往广东。
- ☞ 中部通道: 将金沙江干支流(雅砻江、大渡河)水电站开发出来送往华东地区。
- ☞ 北部通道: 将黄河上游水电站和山西、蒙西地区坑口火电厂开发出来送往京津唐地区。



# 1.1 电力系统的基本概念

## ▶ 电力系统为什么要互联并网运行呢？

- ☞ 采用高效率大容量机组：减少备用容量、最大单机容量 最大发电厂
- ☞ 合理利用动力资源：水、火电互补；
- ☞ 提高供电可靠性—系统越大，抗干扰能力越强
- ☞ 提高运行的经济性—装高效率大容量机组、合理利用动力资源、合理分配负荷、削峰填谷。



# 1.1 电力系统的基本概念

## ▶ 机构改革初显成效:

2002年, 中国电力工业成立了两家电网公司、5家发电集团和4家辅业集团; 2003年2月, 国家电监委成立。

☞ 两家电网公司: 国家电网公司、中国南方电网公司;

☞ 5家发电集团: 中国华能、中国大唐、中国华电、中国国电和中国电力投资;

☞ 4家辅业集团: 中国电力工程顾问、中国水电工程顾问、中国水利水电建设和中国葛洲坝

# 1.1 电力系统的基本概念

## ▶ 展望：我国电力工业进入新一轮的快速发展期

- ☞ 形成以大型清洁高效燃煤发电、大型水电、大型核电、多种形式的可再生能源发电和分布式电源构成的多元化发电结构。
- ☞ 形成以特/超高压交直流输电为骨干，区域电网互联，各级电压电网协调发展的坚强智能电网。

# 1.1 电力系统的基本概念

## 目前电网和智能电网的比较

	目前电网	智能电网
通讯	没有或单向	双向
与用户交互	很少	很多
仪表型式	机电的	数字的
运行与管理	人工的设备校核	远方监控
功率的提供与支持	集中发电	集中和分布式发电并存
潮流控制	有限的	普遍的
可靠性	倾向于故障和电力中断	自适应保护和孤岛化
供电恢复	人工的	自愈的
网络拓扑	辐射状的	网状的

# 1.2 电力系统运行特点和基本要求

## 一、电力系统运行的特点

- 1、与国民经济及日常生活关系密切;
- 2、电能不能大量储存;
- 3、生产、输送、消费组成一个统一整体;
- 4、暂态过程非常短促 (30万 km/s) ;
- 5、对质量要求非常严格。

## 二、电力系统的要求

安全 优质 经济 环保

# 1.2 电力系统运行特点和基本要求

## 安全：保证可靠的供电的措施

- 电源与电网的建设（西电东送全国联网）
- SCADA - 数据采集与监视控制系统  
(Supervisory Control And Data Acquisition)
- 设备检修（计划检修→状态检修）
- 人员素质

## 1.2 电力系统运行特点和基本要求

### ► 负荷（一级 二级 三级）

- 一级负荷：对这一级负荷中断供电，将造成人身事故，经济严重损失，人民生活发生混乱。
- 二级负荷：对这一级负荷中断供电，将造成大量减产，人民生活受影响。
- 三级负荷：所有不属于一、二级的负荷。

## 1.2 电力系统运行特点和基本要求

### 优质

#### 电能质量指标

电压:  $\geq 35\text{kV} \pm 5\%$   $\leq 10\text{kV} \pm 7\%$  (无功功率)

频率:  $\pm 0.2\text{Hz}(\geq 3000\text{MW}) \sim 0.5\text{Hz}(\leq 3000\text{MW})$

(有功功率)

谐波: 电力电子装置, 非线性负荷



# 1.2 电力系统运行特点和基本要求

## 经济

- 煤耗率（水耗率）
- 厂用电率
- 网损



## 1.2 电力系统运行特点和基本要求

### 环保

- 火电厂装机 **> 70%**
- 煤炭燃烧造成的污染
- 限制污染物的排放量

# 小结

介绍了电力系统、动力系统和电网的组成及其基本概念；

介绍了总装机容量、年发电量等基本参量和国内外电力工业与技术的发展。

介绍了电力系统运行特点和基本要求

。