

课程性质、目的及特点

■ 课程性质

- 是电气工程及其自动化专业的**必修课程**，是电力系统方向的**主干专业课程**。
- 以前期基础课为基础，又是后续专业课的基础，在教学过程中起着**承上启下**的作用。

课程性质、目的及特点

■ 工程认证要求

毕业要求	毕业要求分指标点	课程目标
[毕业要求2]: 问题分析: 能够应用数学、自然科学和电气工程科学的基本原理, 通过文献研究、数学建模、实验、经验提炼等方法, 识别、表达、分析电气工程领域的复杂工程问题, 以获得有效结论。	指标点2-1: 能运用相关科学原理, 识别和判断电力系统、电气传动等电气工程领域复杂工程问题的关键环节。	课程目标1: 能描述并解释输电线路、变压器和发电机等电力系统各元件的特性, 建立各元件及电力网络数学模型。
	指标点2-2: 能够基于电磁感应定律、电磁力定律等相关科学原理和数学模型方法正确表述电能的产生、传输、转换、控制、储存和利用等复杂工程问题。	课程目标2: 能够利用电路、电网络等相关理论和方法分析电力线路、变压器等关键元件的运行状态及简单电力网络的潮流。
	指标点2-3: 能认识到电气信号测试与分析电力系统潮流分析与控制等电气工程领域问题有多种解决方案, 会通过信息检索、查阅和分析文献等方法, 寻求可替代的解决方案。	课程目标3: 能够描述并解释复杂潮流计算的基本方法及步骤, 能够在信息检索、文献查阅等基础上, 选择相关方法实施复杂电力系统的潮流分析和计算。
	指标点2-4: 能运用相关基本原理, 借助文献研究, 分析电气工程领域过程的影响因素, 获得有效结论。	课程目标4: 能够分析解释电力系统频率波动、电压波动的原因, 并给出频率和电压调整措施。

课程性质、目的及特点

■ 课程目的

- 对电力系统有全面的了解，并为后续专业课奠定必要的基础；
- 深入了解电力系统各元件的特性，数学模型和相互关系，为进一步掌握和研究电力系统分析和运行问题提供良好的基础；
- 掌握电力系统分析的基本原理和方法，培养在电力系统方面的工程计算能力及分析和解决问题的能力。

课程性质、目的及特点

■ 课程特点

- 是一门工程观念很强的课程，既有严格的理论推导，又有必要合理的简化近似，这是与学基础课不同的地方。
- 本课程设计内容广，概念多，公式多，计算多，而且内容有一定的深度。

课程学习方法及参考资料

■ 课程学习方法

- 讲授—了解基本概念，基本理论，基本方法。
- 自学—熟悉基本概念，基本理论，基本方法
- 习题—掌握重要概念的内涵，理解重要理论的实质，掌握重要计算方法。

课程学习方法及参考资料

■ 参考资料

- 陈珩，电力系统稳态分析(第四版)，中国电力出版社；
- 何仰赞等，电力系统分析（上册），华中理工大学出版社；
- 韩祯祥等，电力系统分析，浙江大学出版社
- 相关《电力系统分析》精品课程网站、课件等

考核方式及课程纪律

■ 考核方式：

- 期末考试： 70%
- 作业： 10%（不要千篇一律）
- 出勤： 10%
- 课堂表现： 10%

考核方式及课程纪律

■ 纪律要求：

- 上课期间，手机静音，禁止看手机、禁止交头接耳等。
- 无故缺席/迟到1/3课时，取消考试资格。
- 通常，每1-2周一次课后作业，交作业时间：次周第一次课上课之前,过时不候。

课程内容概述

- 电力系统分析（**稳态分析**、暂态分析）
 - **稳态**：电力系统正常的、相对静止的运行状态
 - **暂态**：从一种运行状态过渡到另一种运行状态
- **电力系统稳态分析**主要内容：
 - 电力系统的基本知识（第一章）
 - 电力系统各元件的特性和数学模型（第二章）
 - 简单电力网络的分析和计算—**手算潮流**（第三章）
 - 复杂电力系统潮流的计算机算法—**机算潮流**（第四章）
 - 电力系统的有功功率和频率调整（第五章）
 - 电力系统的无功功率和电压调整（第六章）

课程内容概述

潮流计算的意义：

(1) 在电网规划阶段, 通过潮流计算, 合理规划电源容量及接入点, 合理规划网架, 选择无功补偿方案, 确定变电站接地电阻及架空线路的跨距等。 (设计院、设备厂家)

(2) 在编制年运行方式时, 在预计负荷增长及新设备投运基础上, 选择典型方式进行潮流计算, 发现电网中薄弱环节, 供调度员日常调度控制参考。 (电网公司)

(3) 正常检修及特殊运行方式下的潮流计算, 用于日运行方式的编制, 指导发电厂开机方式, 有功、无功调整方案及负荷调整方案, 满足线路、变压器热稳定要求及电压质量要求。
(电厂)

电网考试、研究生面试的重点

第一章 电力系统的基本概念

- 第一节 电力系统概述
- 第二节 电力系统运行应该满足的基本要求
- 第三节 电力系统的接线方式和电压等级
- 第四节 电力工程学科和电力系统分析课程

第一节 电力系统概述

- 电力系统的形成和发展
- 电力系统的组成
- 电力系统的基本参量和接线图
- 我国电力工业和电力系统简介

电力系统的形成和发展

■ 电力系统的形成和发展

- 1831年 法拉第发现电磁感应定律，奠定发电机的理论基础。此后很快出现原始的交流发电机、直流发电机和直流电动机。
- 1882年 第一次出现了高压输电（直流1500~2000V）。
- 1885年 在制成变压器的基础上，实现单相交流输电。
- 1891年 在制成三相变压器和三相异步电动机的基础上，实现三相交流输电，近代电力系统形成。

电力系统的发展过程：

直流→交流→交直流 单相→三相 低压→高压

电力系统的形成和发展

■ 现代电力系统的特点

- 在输电电压、输送距离、输送功率等方面有了千百倍的增长

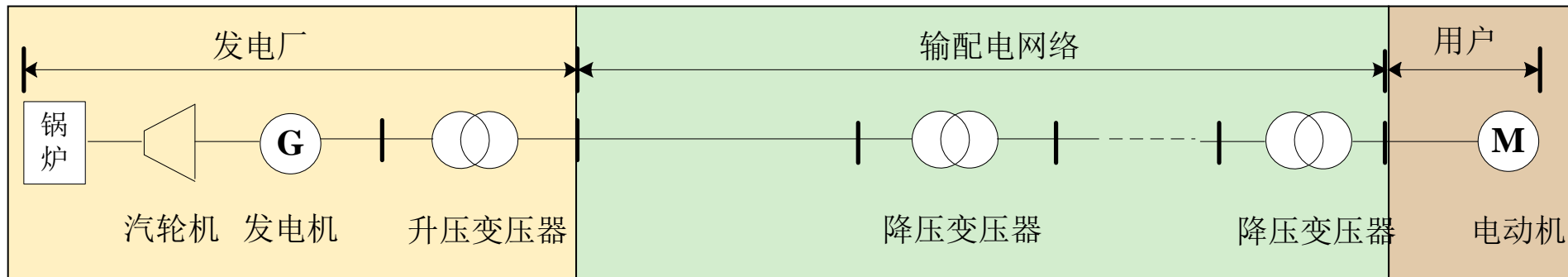
交流输电电压	$\geq 1000\text{kV}$
直流输电电压	达 $\pm 1100\text{kV}$
输电距离	$> 1000\text{km}$
输送功率	$> 6000\text{MW}$

- 在电源构成、负荷成分等方面也有很大的变化
- 在运行管理上实现了高度自动化信息化（AGC, EMS, SCADA, PMU）

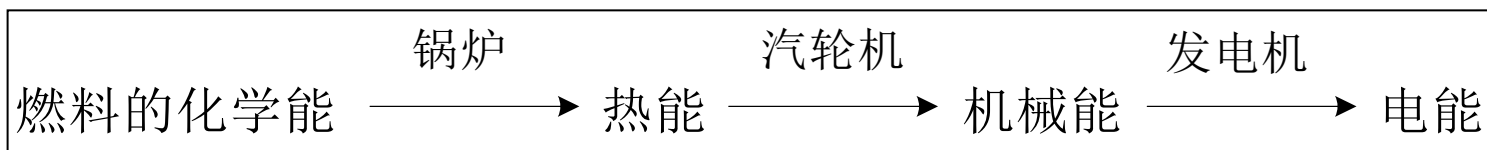
第一节 电力系统概述

- 电力系统的形成和发展
- 电力系统的组成
- 电力系统的基本参量和接线图
- 我国电力工业和电力系统简介

电力系统的组成

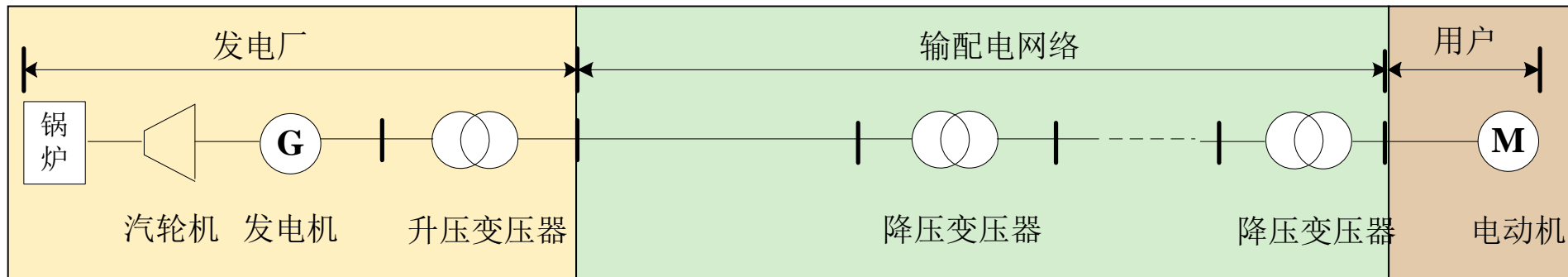


- ❑ **发电厂：** 将其它各种形式的一次能源转换为电能 (火电、水电、核电、新能源发电)

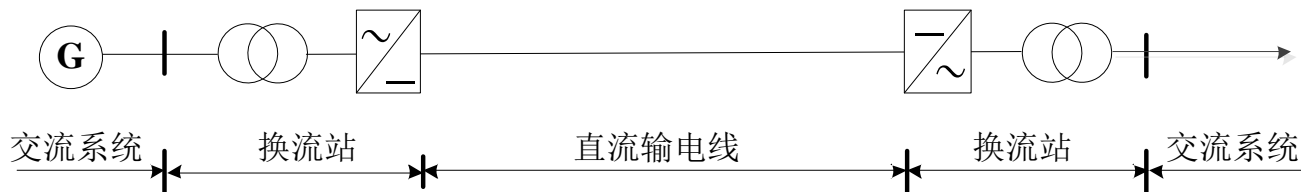


含升压变（厂内），将发电机的机端电压升高到输电电压

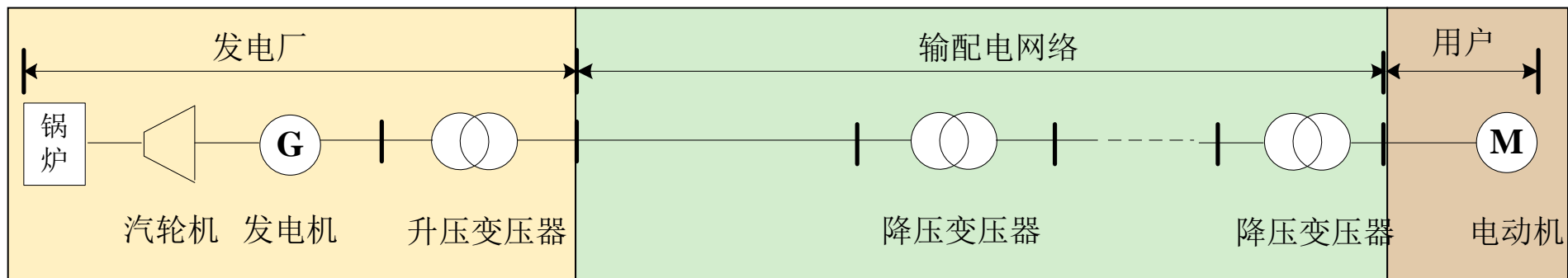
电力系统的组成



- ❑ **电力网络：**由**变压器**和不同电压等级**电力线路**等变换、输送、分配电能设备所组成的部分。
- ❑ 输电网和配电网
- ❑ 将高压电能输送、（降压）分配给用户
- ❑ 输电、配电方式：交流、**直流**



电力系统的组成



- **用电设备（电力系统负荷）：**电动机、电热炉、照明灯各种消耗电能的设备
- **实现电能向其它形式能源（机械能、热能和光能）的转换，是电力系统的服务对象**



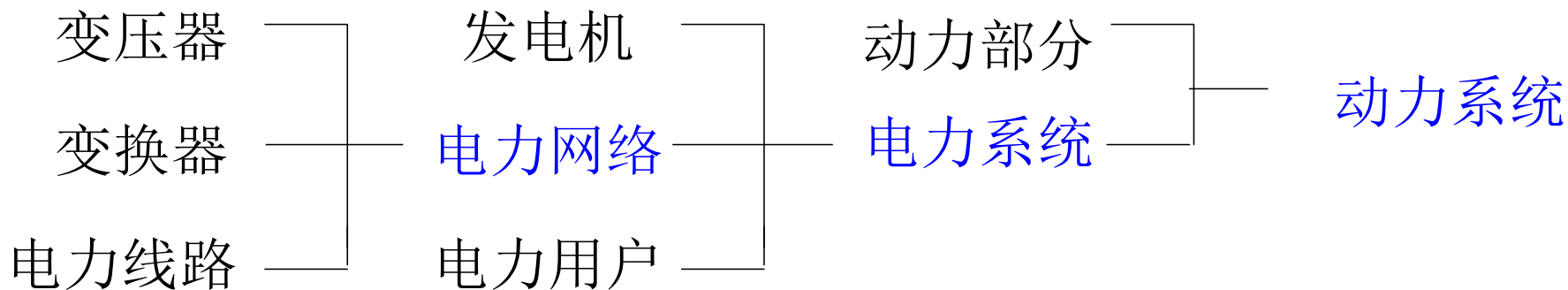
电力系统的组成

■ 几个基本概念

- **电力网络**：电力系统中由**变压器/变换器**和不同电压等级**电力线路**等变换、输送、分配电能设备所组成的部分。
- **电力系统**：由生产、变换、输送、分配、消费电能的**发电机**、**变压器/变换器**、**电力线路**和各种**用电设备**以及测量、保护、控制等装置组成的统一整体。
- **动力系统**：**电力系统和发电厂动力部分的总和**。其中，动力部分，包括火电厂的锅炉、汽轮机、热力网和用热设备；水电厂的水库、水轮机等；核电厂的核反应堆等。——**广义电力系统**

电力系统的组成

■ 三者的关系：



第一节 电力系统概述

- 电力系统的形成和发展
- 电力系统的组成
- 电力系统的基本参量和接线图
- 我国电力工业和电力系统简介

电力系统的基本参量和接线图

■ 基本参量

□ 总装机容量（有功功率）

- 电力系统中实际安装的发电机组**额定有功功率**的总和
- 以千瓦（ $1\text{kW}=10^3\text{W}$ ）、兆瓦（ $1\text{MW}=10^6\text{W}$ ）、吉瓦（ $1\text{GW}=10^9\text{W}$ ）为单位

□ 年发电量（电度量）：

- 系统中所有发电机组全年实际发出**电能**的总和
- 以兆瓦时（MWh）、吉瓦时（GWh）、太瓦时（TWh）为单位

电力系统的基本参量和接线图

■ 基本参量

□ 最大负荷（有功功率）

一般指规定时间内，如一天、一个月或一年内，电力系统有功功率负荷的最大值，以千瓦、兆瓦、吉瓦为单位。

□ 额定频率：

我国所有交流电力系统的额定频率（工频）为50Hz。

□ 最高电压等级：

电力系统中最高电压等级电力线路的额定电压，以千伏（kV）为单位

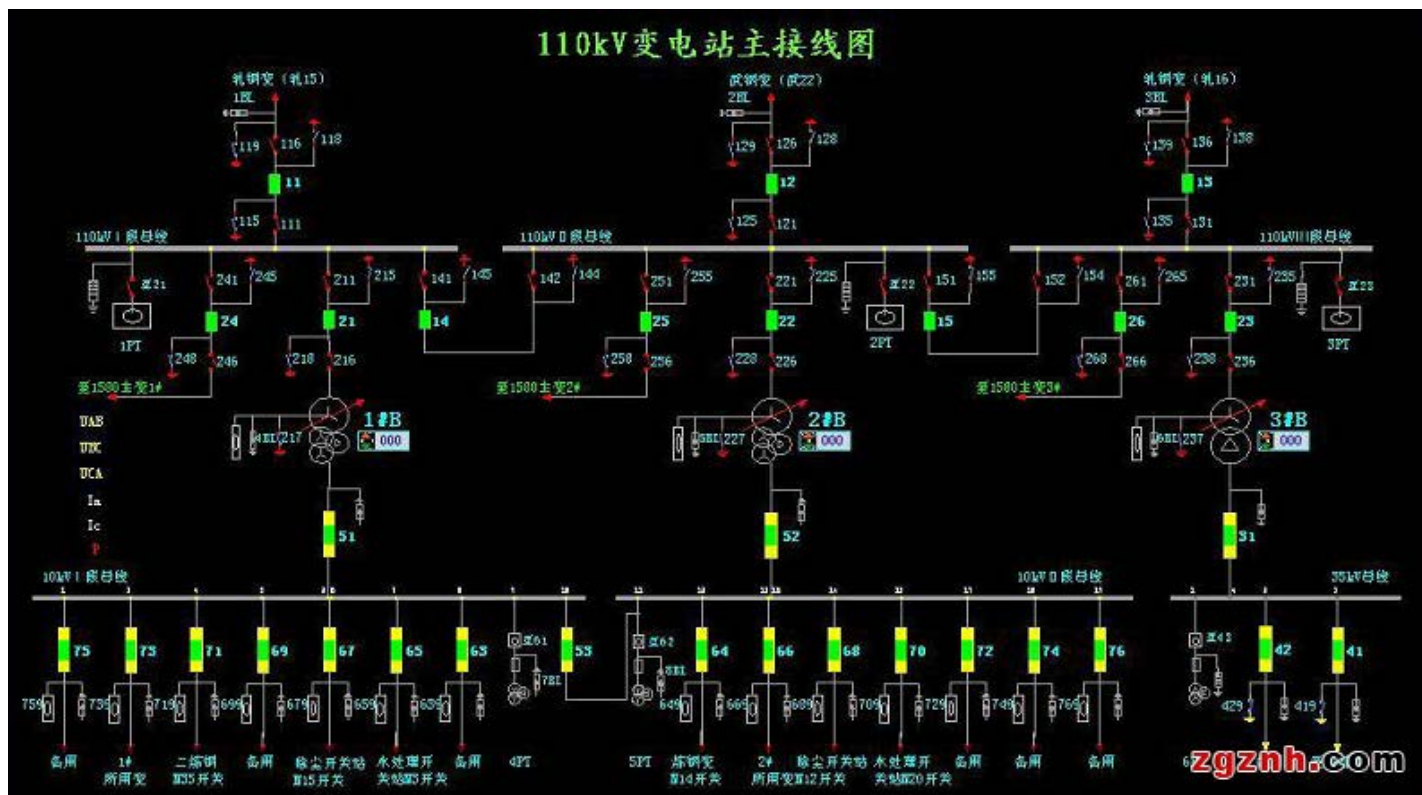
电力系统的基本参量和接线图

- **地理接线图**：显示电力系统中各发电厂、变电站的**地理位置**，电力线路的路径及其相互间的连接。



电力系统的基本参量和接线图

- **电气接线图**：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、线路之间的电气连接。



第一节 电力系统概述

- 电力系统的形成和发展
- 电力系统的组成
- 电力系统的基本参量和接线图
- 我国电力工业和电力系统简介

第一节 电力系统概述

■ 我国电力工业及电力系统简介

- 我国电力工业概况
- 我国电力系统简介
- 我国电力工业发展前景

我国电力工业概况

- 1882年上海建了我国第一个电厂
- 1949年以后，电力建设步伐加快，总装机容量和年发电量都有很大增长。
- 现代电力系统不仅具有以大机组、大电网、超高压、交直流联合输电、高度智能化为主体的结构特征，而且可再生资源的开发和应用将形成新型的输、配电网与分布式发电系统拓扑结构。

我国电力工业概况

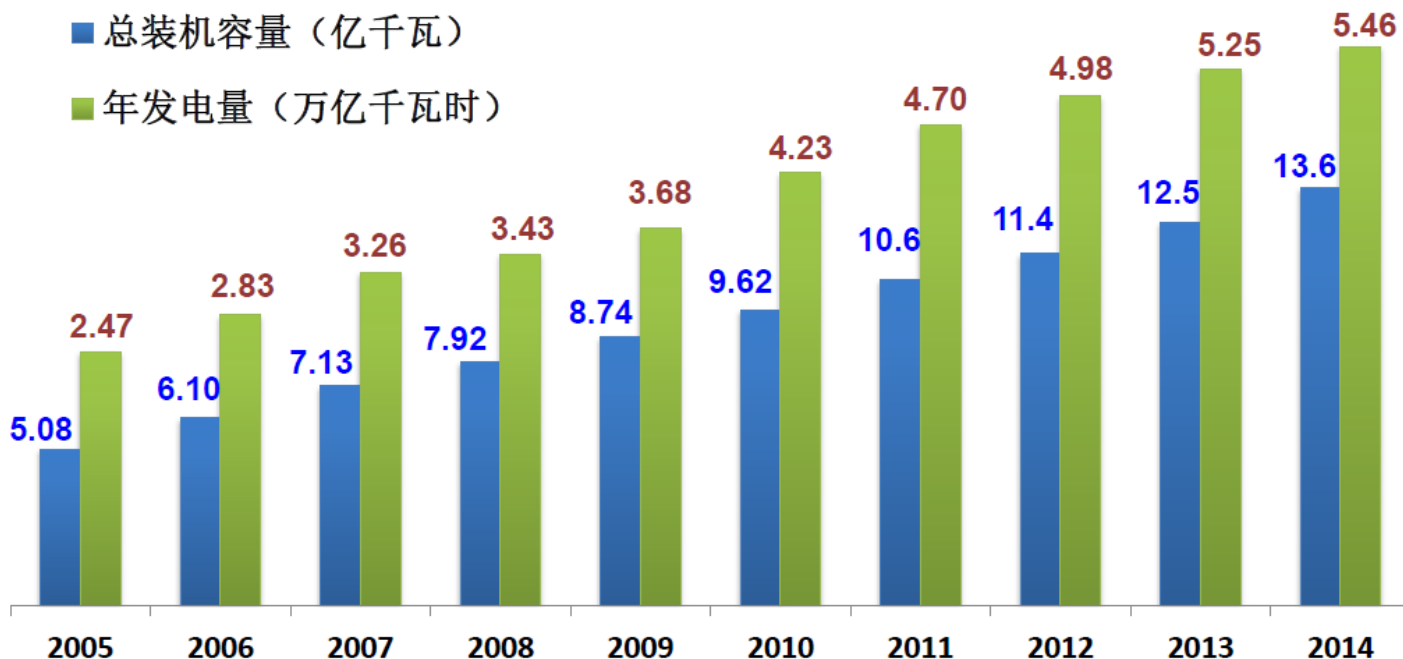
2021年各国年发电量排名

排名	国别	万亿千瓦时	全球占比
第1	中国	8.534	30.0%
第2	美国	4.406	15.5%
第3	印度	1.715	6.0%
第4	俄罗斯	1.157	4.1%
第5	日本	1.020	3.6%
第6	巴西	0.654	2.3%
第7	加拿大	0.641	2.3%
第8	韩国	0.600	2.1%
第9	德国	0.585	2.1%
第10	法国	0.547	1.9%
第11	伊朗	0.358	1.3%
第12	沙特	0.357	1.3%
第13	墨西哥	0.336	1.2%
第14	土耳其	0.333	1.2%
第15	英国	0.310	1.1%
第16	印度尼西亚	0.309	1.1%
/	全球	28.466	100.0%

我国电力工业概况

■ 总装机容量（亿千瓦）

■ 年发电量（万亿千瓦时）



全国总装机容量和年发电量

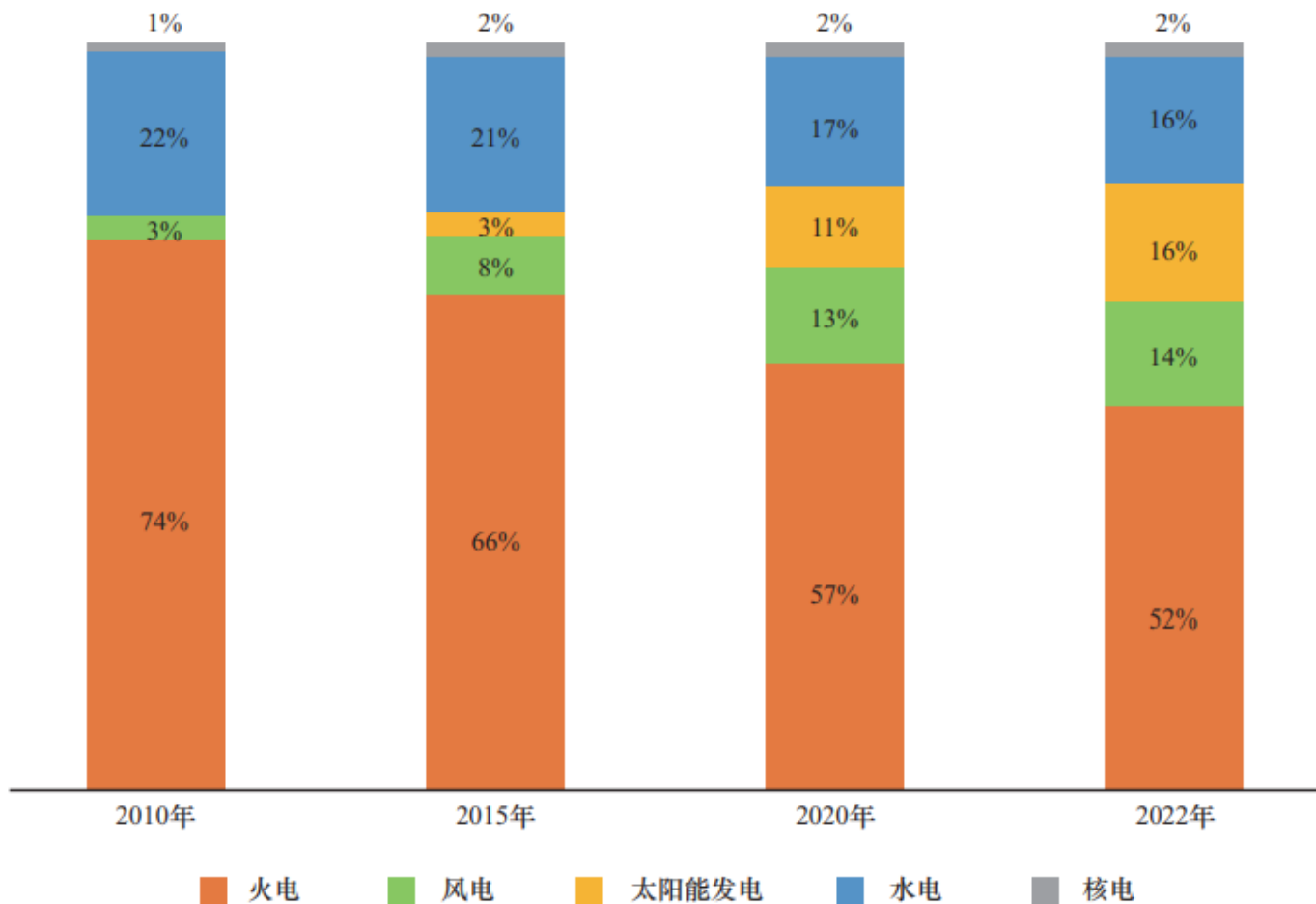
2015-2021年中国发电装机容量（单位：亿千瓦）



2015-2021年中国发电总量（单位：亿千瓦时）



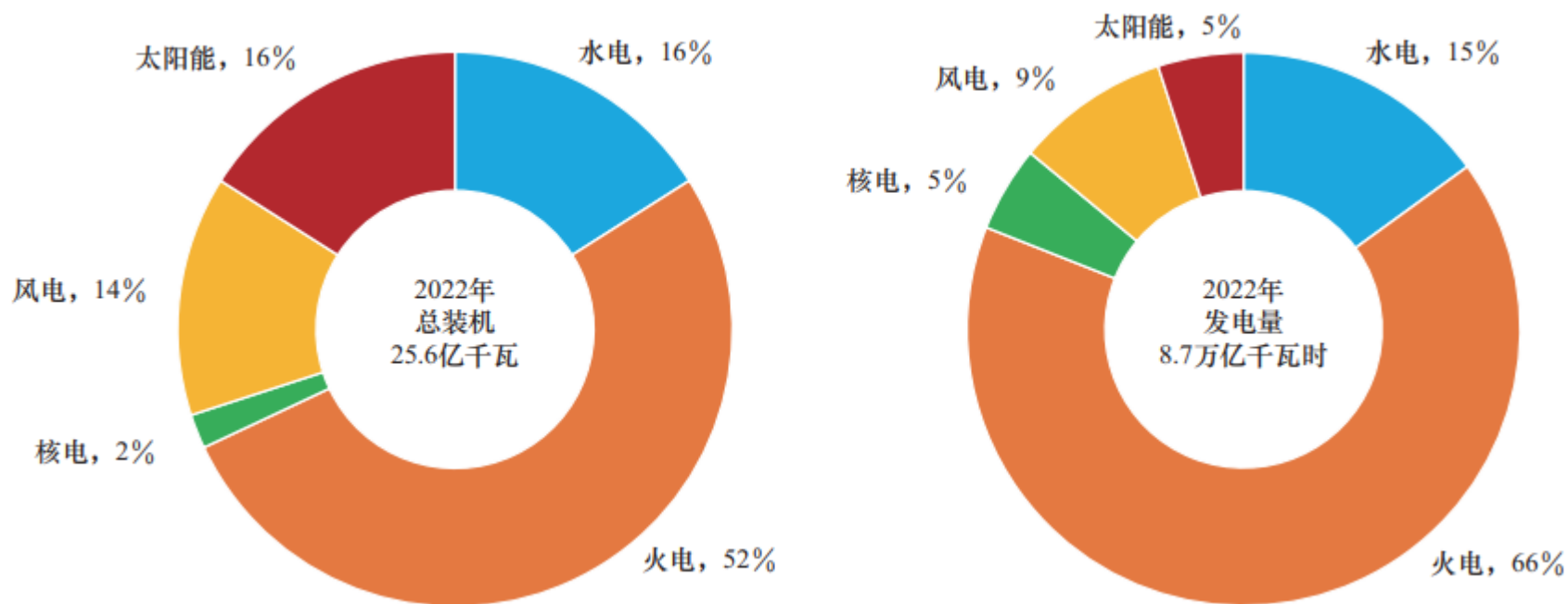
我国电力工业概况



近年我国各类电源装机结构变化趋势

来源：国家能源局组织发布《新型电力系统发展蓝皮书》

我国电力工业概况



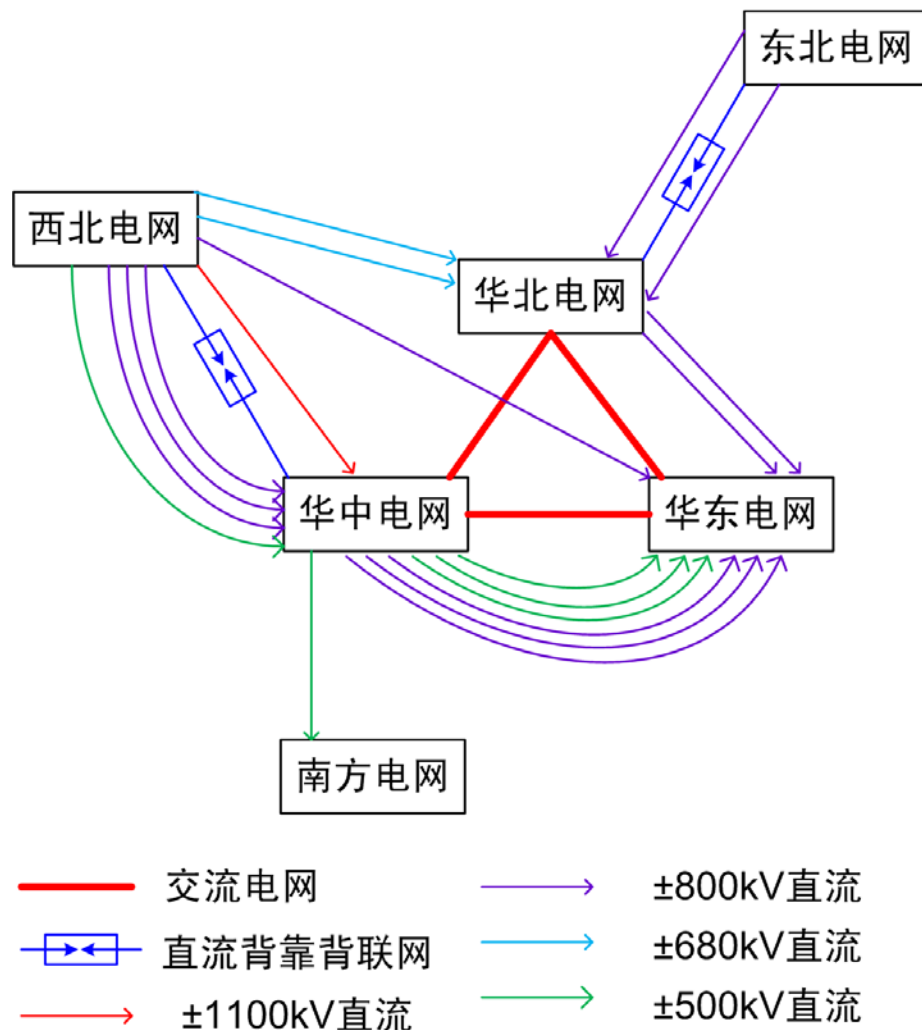
2022 年全国各类电源装机和发电量占比

来源：国家能源局组织发布《新型电力系统发展蓝皮书》

我国电力系统简介

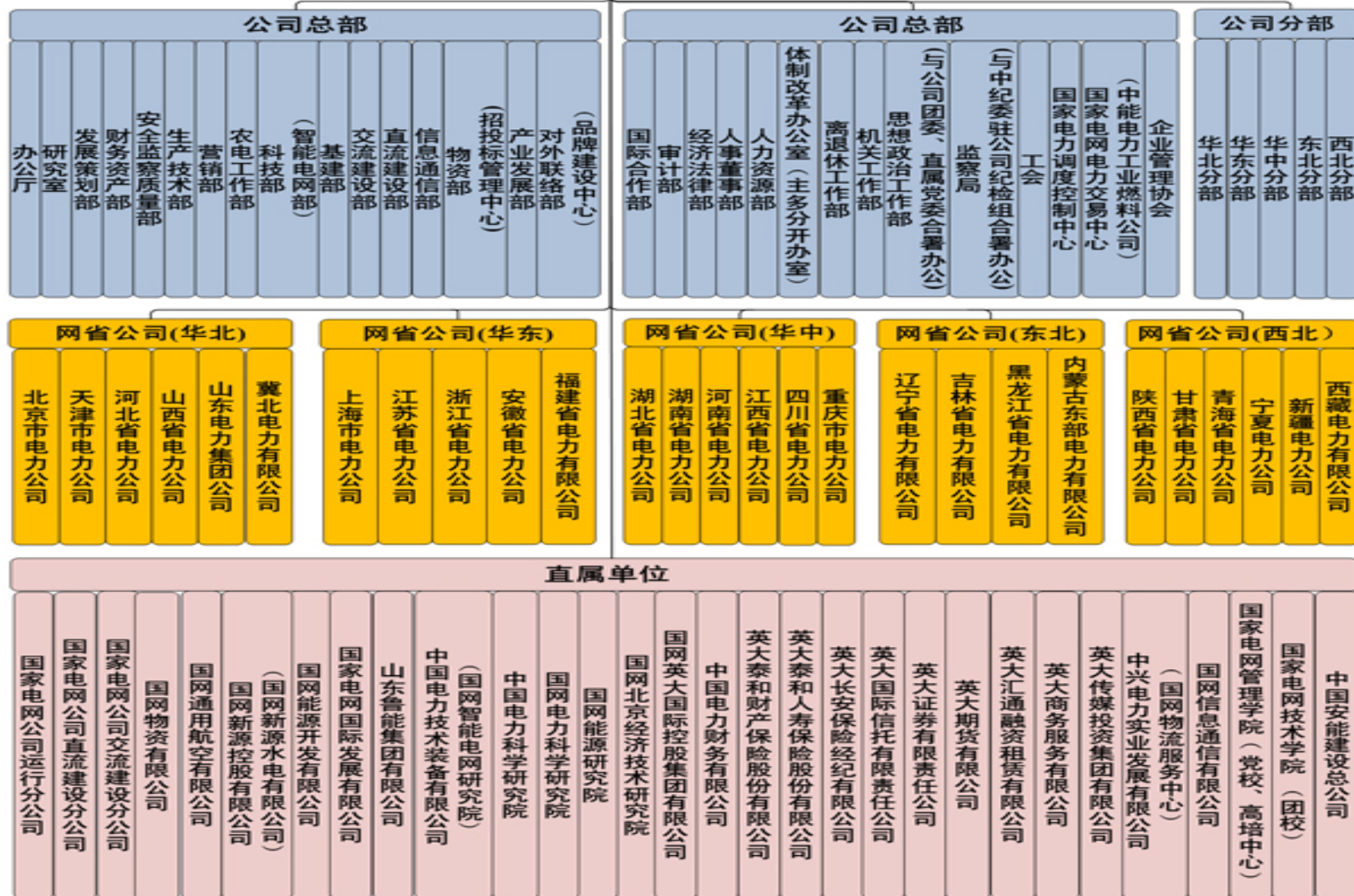
■ 我国电网组成

- **国家电网公司**：东北电网公司、华北电网公司、华东电网公司、华中电网公司、西北电网公司
- **南方电网公司**：由广东、广西、云南、贵州、海南五个省级电力公司组成。



国家电网公司组织机构图

国家电网公司



东北电网

辽宁
吉林
黑龙江

装机容量(万千瓦)
4384 (2005)
6305.63 (2008)
10644.1 (2012)



华北电网

北京 天津

河北 山西 山东

内蒙古自治区

装机容量(万千瓦)

11954 (2005)

13911.37 (2008)

19499.41 (2012)



华东电网

上海 江苏

浙江 安徽

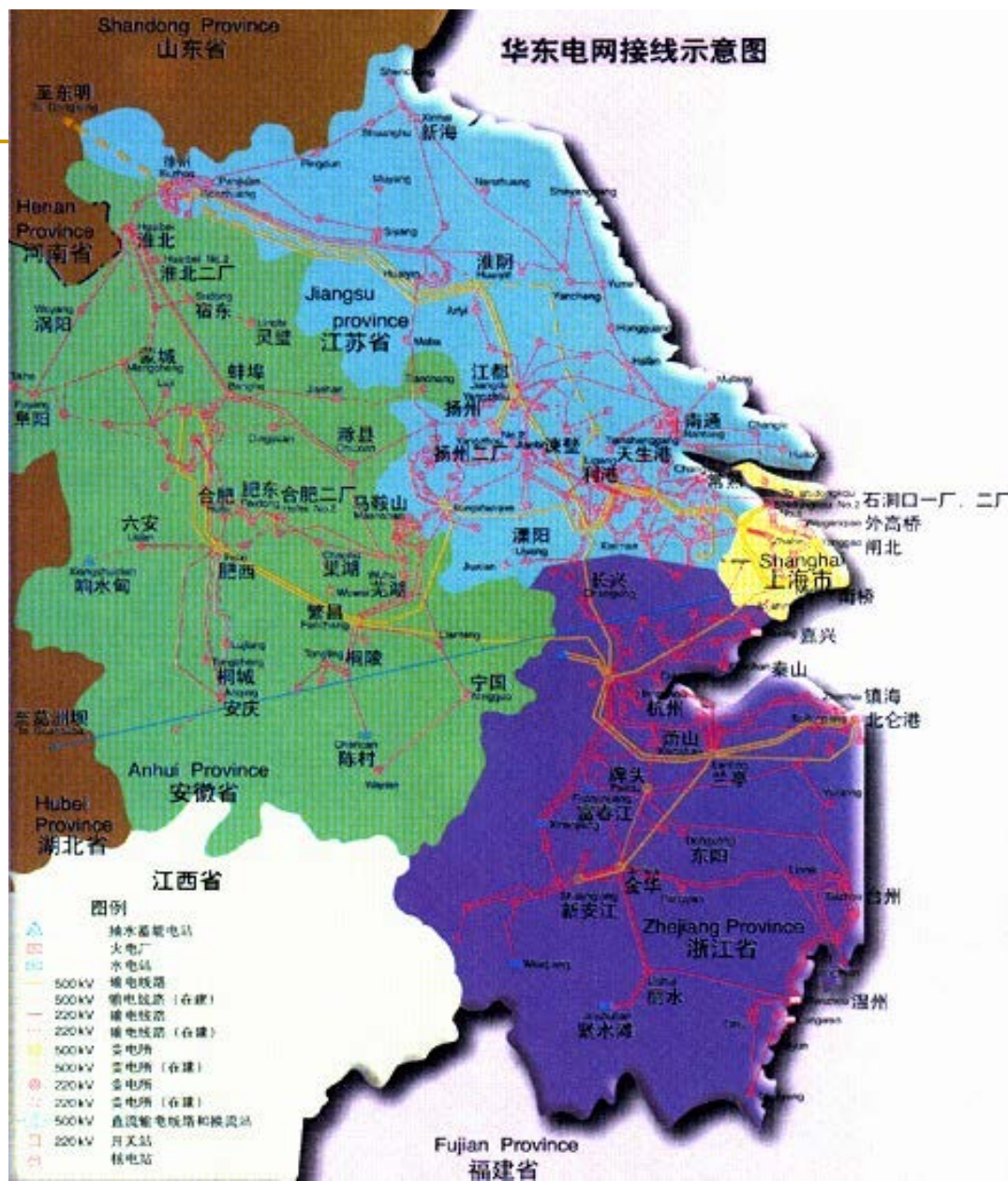
福建

装机容量 (万千瓦)

10378.835 (2005)

17706.03 (2008)

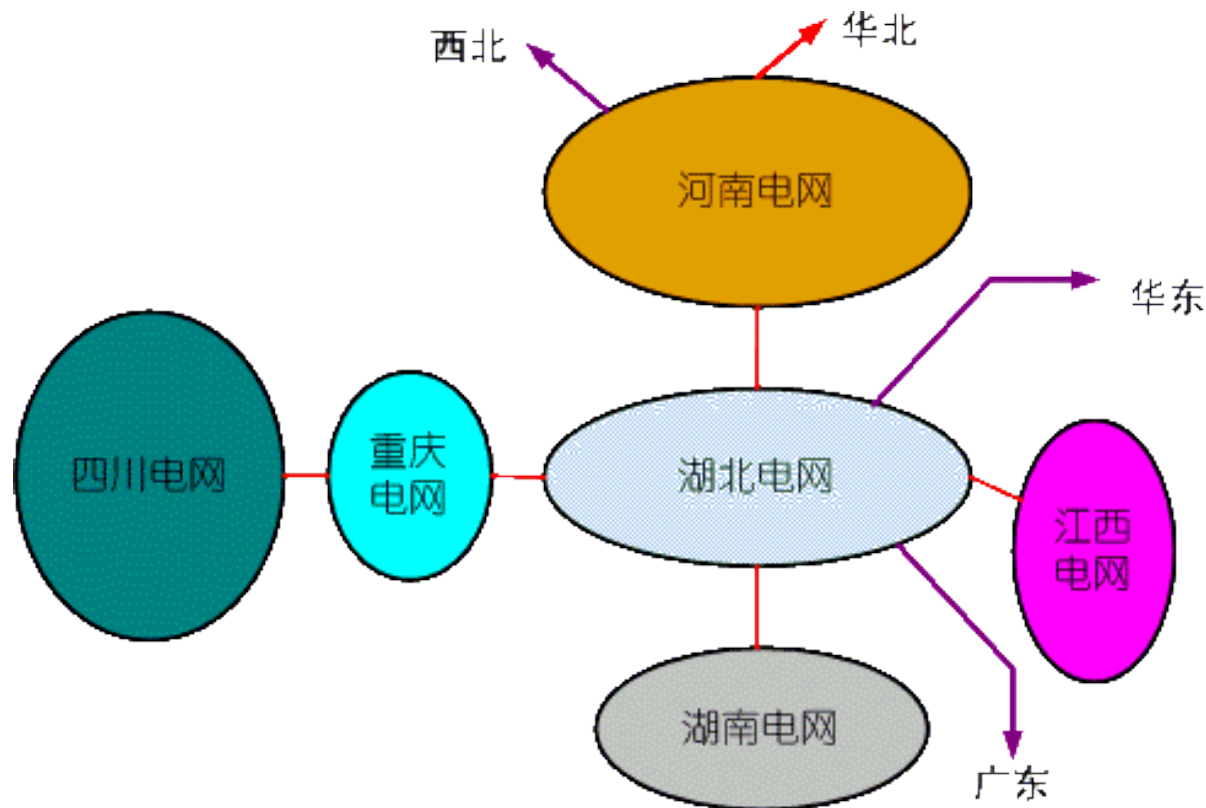
23278.88 (2012)



华中电网

河南 湖北 湖南
江西 重庆 四川

装机容量(万千瓦)
10087.91 (2005)
17343.47 (2008)
23448.88 (2012)



西北电网

陕西
甘肃
青海
宁夏回族自治区

装机容量(万千瓦)
4401.3 (2005)
5982.09 (2008)
11334.22 (2012)



南方电网

广东 广西
云南 贵州 海南

装机容量

7804.75 (2005不含海南)

1.38万 (2008)

1.7万 (2011) 万千瓦



我国电力工业的发展前景

- 装机容量和年发电量逐年递增
- 新能发电（风电、光伏等）大规模发展
- 储能快速发展
- 人工智能、大数据、5G通信等新技术应用
- 以新能源为主体的新型电力系统

电力行业前景光明

第一章 电力系统的基本概念

- 第一节 电力系统概述
- 第二节 电力系统运行应该满足的基本要求
- 第三节 电力系统的接线方式和电压等级
- 第四节 电力工程学科和电力系统分析课程

第一章 电力系统的基本概念

■ 第二节 电力系统运行应该满足的基本要求

- 电能生产、输送、消费的特点
- 对电力系统运行的基本要求

电能生产、输送、消费的特点

- 电能与国民经济各个部门之间的关系密切
- 电能一般不能大量储存，生产、输送、消费同时完成
- 生产、输送、消费电能各环节所组成的统一整体不可分割
- 生产、输送、消费工况的改变十分迅速
- 对电能质量的要求严格

电压、频率和波形

对电力系统运行的基本要求 (可靠、优质、经济、环保)

□ 保证可靠地持续供电

按对供电可靠性的要求，将负荷分为三级：

- **一级负荷**：对这一级负荷中断供电，将造成人身事故，设备损坏，使生产秩序长期不能恢复，人民生活发生混乱等。需保证不间断供电、独立的双电源。
- **二级负荷**：对这一级负荷中断供电，将造成大量减产、使人民生活受到影响。对这一级负荷，需要具体论证是否需要独立的双电源。
- **三级负荷**：所有不属于第一、二级的负荷，如工厂的附属车间、小城镇等。在不增加备用设备的情况下，尽量保证可靠性。

对电力系统运行的基本要求 (可靠、优质、经济、环保)

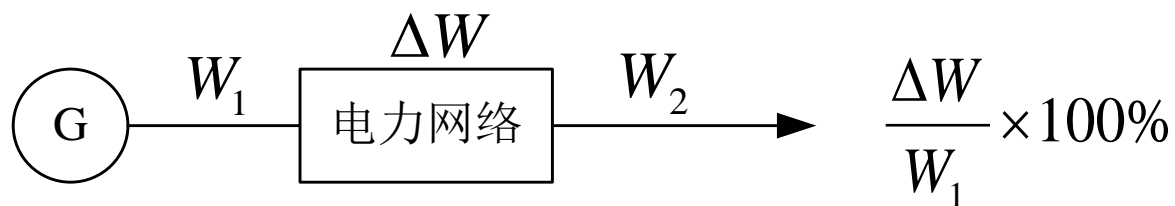
□ 保证良好的电能质量

- **电压质量**：以**电压偏移**是否超过给定值来衡量。例如，给定允许电压偏移为 $\pm 5\%$ 。
- **频率质量**：以**频率偏移**是否超过给定值来衡量。我国的额定频率（工频）为50Hz，正常运行时允许的偏移为 $\pm (0.2 \sim 0.5) \text{ Hz}$ 。
- **波形质量**：以**正弦波形畸变率**是否超过给定值来衡量。

对电力系统运行的基本要求 (可靠、优质、经济、环保)

□ 保证系统运行的经济性

- 一次能源耗量：例如**煤耗率**（每生产1kWh电能所消耗的标准煤重）。标准煤：每kg含热量为29.31MJ的煤。
- **线损率（网损率）**：电网中损耗的电能与向电力网络供应电能的百分比。



□ 保证对环境的保护

第一章 电力系统的基本概念

- 第一节 电力系统概述
- 第二节 电力系统运行应该满足的基本要求
- 第三节 电力系统的接线方式和电压等级
- 第四节 电力工程学科和电力系统分析课程

第一章 电力系统的基本概念

■ 第三节 电力系统的接线方式和电压等级

□ 几种典型接线方式的特点

□ 额定电压等级及适用范围★

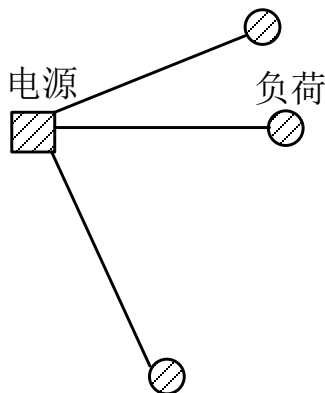
□ 电力系统中性点的运行方式

几种典型接线方式的特点

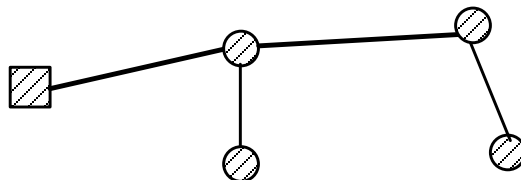
电力系统**接线方式**就是电力部门制定的发电厂、变电所、换流站和输配电线路之间的连接方式。

- 按**供电可靠性**分为**无备用接线**和**有备用接线**
- 无备用接线：
 - 单回路放射式
 - 单回路干线式
 - 单回路链式
- 有备用接线
 - 双回路放射式、干线式、链式
 - 环网
 - 双端供电网络

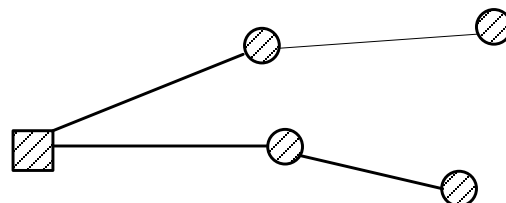
无备用接线方式



单回路放射式



单回路干线式



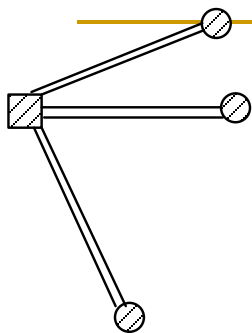
单回路链式

图1-5 无备用接线方式

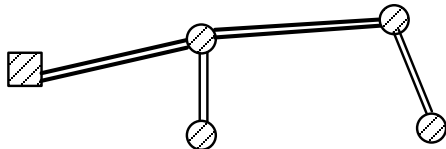
■ 特点：

- ❑ 每一个负荷都只能沿**唯一路径**获取电能
- ❑ 投资少（经济）、运行调度方便（接线简洁）
- ❑ 缺点是供电可靠性差

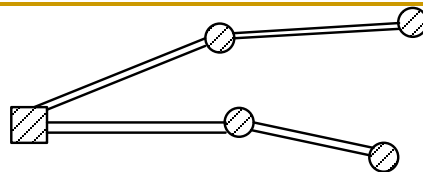
有备用接线方式



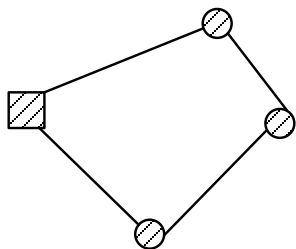
双回路放射式



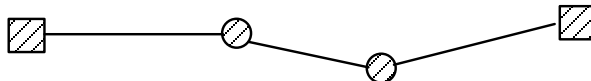
双回路干线式



双回路链式



环网



双端供电网络

图1-6 有备用接线方式

- **双回线放射式、干线式和链式**的特点是供电可靠性和电压质量高，但不经济；
- **环式接线**经济性较好，供电可靠性高，但运行调度复杂，故障时电压质量差；
- **两端电源供电**方式的可靠性、经济性和电压质量都可以保证，但必须要求有两个或以上独立电源。

第一章 电力系统的基本概念

- 第三节 电力系统的接线方式和电压等级
- 几种典型接线方式的特点
- 额定电压等级及适用范围
- 电力系统中性点的运行方式

电力系统的额定电压

- **额定电压**：国家标准规定的标准电压
- 为什么要规定额定电压等级？
 - **经济上考虑**：对应一定的输送功率和输送距离有一最合理的输电电压
 - **技术上考虑**：设备生产的系列性和标准化、电网运行管理的便利化要求额定电压等级不能任意确定

我国电力系统的额定电压等级

表1-1

额 定 电 压 等 级

(kV)

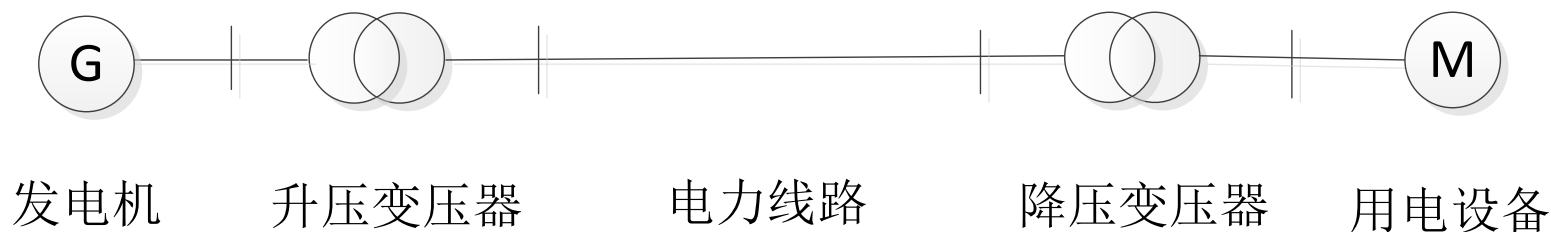
用电设备额定 <u>线电压</u>	交流发电机 <u>线电压</u>	变 压 器 <u>线 电 压</u>	
		一 次 绕 组	二 次 绕 组
3	3.15	3 及 3.15	3.15 及 3.3
6	6.3	6 及 6.3	6.3 及 6.6
10	10.5	10 及 10.5	10.5 及 11
	15.75	15.75	
35		35	38.5
(60)		(60)	(66)
110		110	121
(154)		(154)	(169)
220		220	242
330		330	345 及 363
500		500	525 及 550

不同?

额定电压的配合

- 同一电压等级的电气设备额定电压存在**电压配合问题**

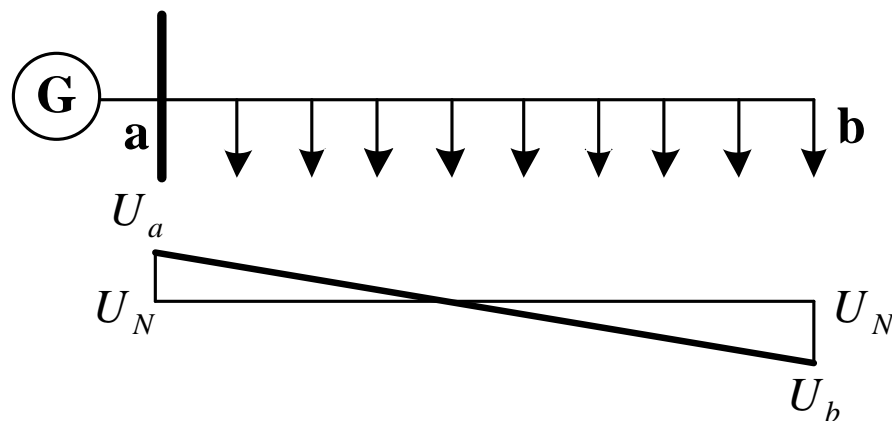
-原因：沿功率输送方向，存在电压降落



-目的：使相互连接的各种电气设备都运行在比较有利的电压条件下

电力线路的额定电压

- 电力线路的额定电压 (U_{LN})，规定为线路的平均电压。

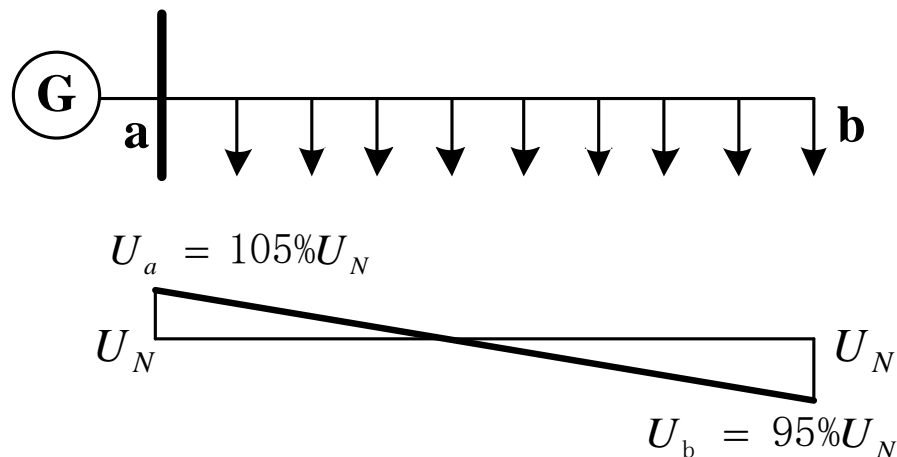


$$U_{LN} = \frac{U_a + U_b}{2} = U_N$$

- 通常所说的电力系统（网络）的额定电压 (U_N)，就是指电力线路的额定电压。

用电设备的额定电压

- 用电设备的额定电压=同级线路的额定电压

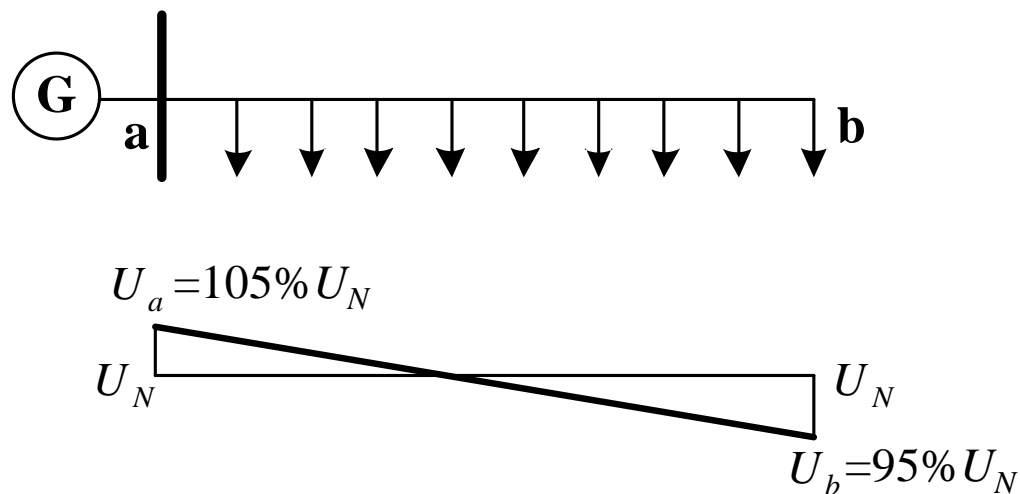


$$U_{LoadN} = U_{LN} = \frac{105\%U_N + 95\%U_N}{2} = U_N$$

发电机的额定电压

- 发电机一般接在线路始端，考虑到沿线的电压降落，取：

$$U_{GN} = 105\% U_N$$



变压器的额定电压

- 变压器一二次绕组的规定：
 - 一次（原边）绕组：输入功率一侧的绕组（受电端，相当于用电设备）
 - 二次（副边）绕组：输出功率一侧的绕组（送电端，相当于发电机）

变压器一、二次绕组与高、低压绕组的区别

变压器的额定电压

- 变压器额定电压的一般情况：
 - 一次绕组额定电压
 - 一次侧是受电端，相当于用电设备
 - $U_{TN-1} = U_N$ （同级电网的额定电压）
 - 二次绕组额定电压
 - 二次侧是送电端，相当于发电机
 - 二次绕组的额定电压规定为空载电压，当负载时，变压器内部的电压降落约为5%
 - $U_{TN-2} = 110\% U_N$ （比同级电网的额定电压高10%）

变压器的额定电压

■ 变压器额定电压的特殊情况：

- 当变压器直接和发电机相联时，一次侧额定电压 $U_{TN-1} = 105\% U_N$
- 当变压器漏抗较小（短路电压百分数 $<7\%$ ）或变压器二次侧直接与负荷相联或电压等级特别高时，二次侧额定电压 $U_{TN-2} = 105\% U_N$ 。

小结：额定电压的规定

- 同一电压等级下电气设备的额定电压配合
设电网额定电压为 U_N
 - 用电设备额定电压 = U_N
 - 线路的额定电压 = U_N
 - 发电机的额定电压 = $105\% U_N$
 - 变压器的额定电压
 - 一次侧额定电压 = U_N 或 $105\% U_N$
 - 二次侧额定电压 = $110\% U_N$ 或 $105\% U_N$

我国电力系统的额定电压等级

表 1-6

额 定 电 压 等 级

(kV)

用电设备额定线电压	交流发电机线电压	变 压 器 线 电 压	
		一 次 绕 组	二 次 绕 组
3	3.15	3 及 3.15	3.15 及 3.3
6	6.3	6 及 6.3	6.3 及 6.6
10	10.5	10 及 10.5	10.5 及 11
	15.75	15.75	
35		35	38.5
(60)		(60)	(66)
110		110	121
(154)		(154)	(169)
220		220	242
330		330	345 及 363
500		500	525 及 550

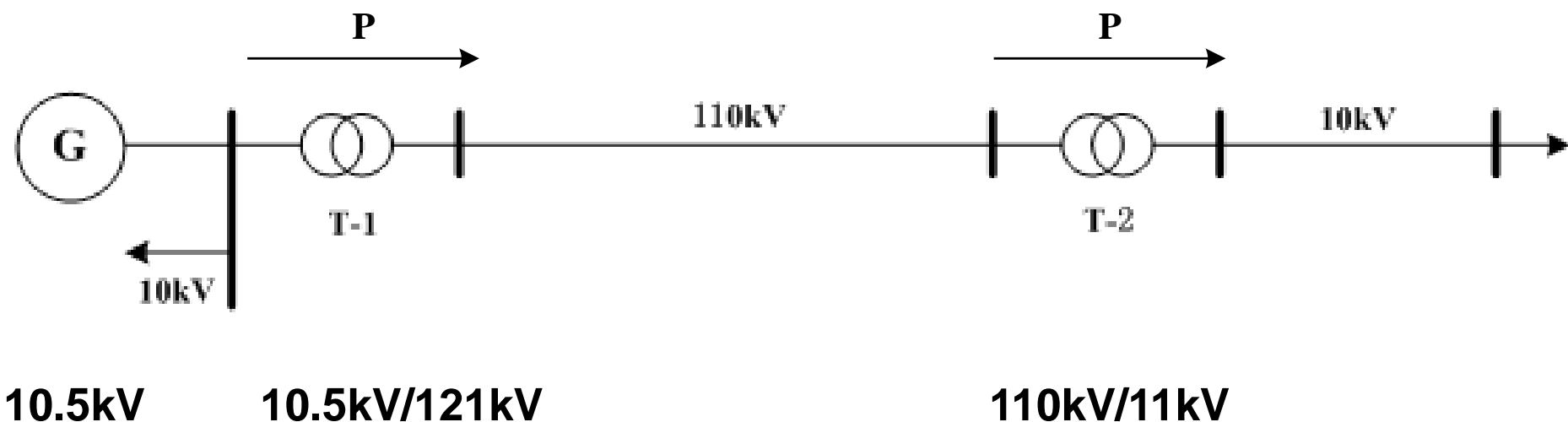
与发电机
直接相联

与负荷直
接相联

电压等
级较高

额定电压例题

- **例：**如图所示，图中标明的电压为系统的额定电压，试确定发电机和变压器的额定电压。



同一电压等级的升压变和降压变的额定电压不同。

不同电压等级的适用范围

- **110kV**以下的电压级差一般应超过**3**倍(**110、35、10kV**)
- **110kV**以上的电压级差以**2**倍左右为宜(**110、220、500kV**)

220、330、500kV	大电力系统的主干线（输电网）	→ 超高压
110kV	中小电力系统的主干线	→ 高压
35kV	大城市和大工业企业内部电网、农网	→ 中压
10kV	最常用的中压配电电压（中压配网）	
3kV	工业企业内部电网	
0.4kV	低压配电电压（低压配网）	→ 低压

额定电压的选择取决于**输送功率**和**输电距离**

电压等级、输送功率和距离的经验关系_(架空线路)

表1-2

额定电压 (kV)	输送功率 (kW)	输送距离 (km)
3	100-1000	1-3
6	100-1200	4-15
10	200-2000	6-20
35	2000-10000	20-50
60	3500-30000	30-100
110	10000-50000	50-150
<u>220</u>	100000-500000	100-300

电压等级、输送功率和距离的经验关系

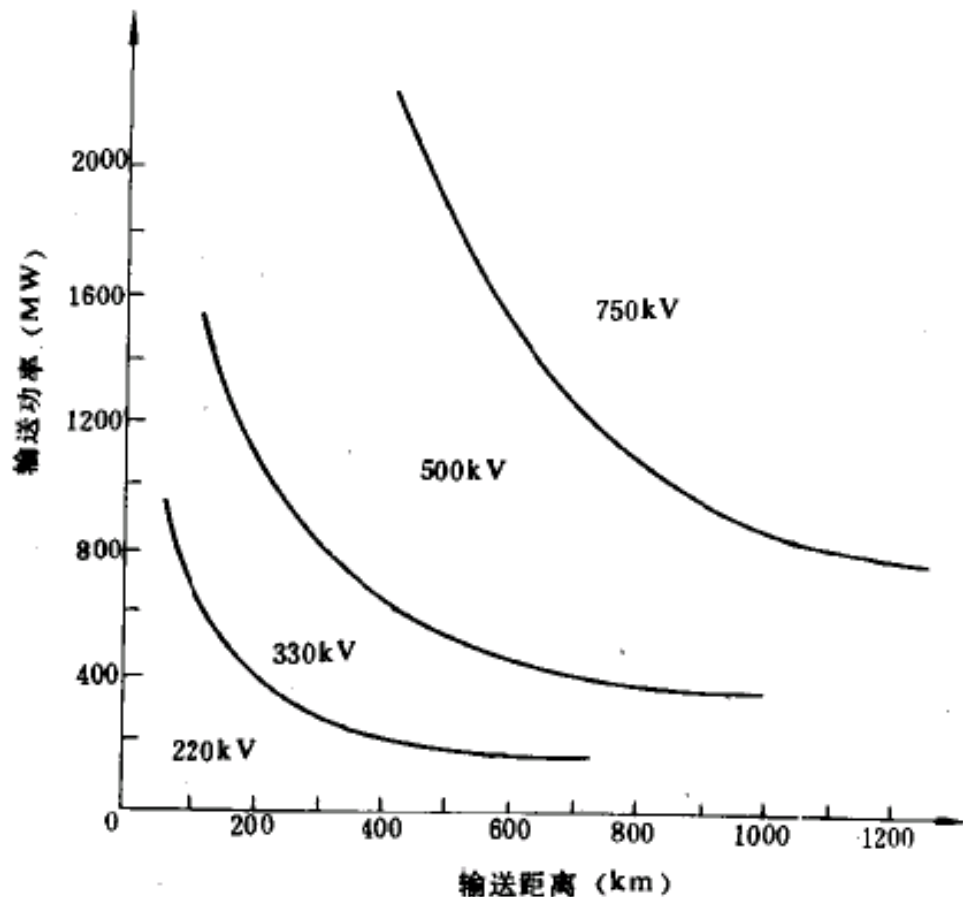


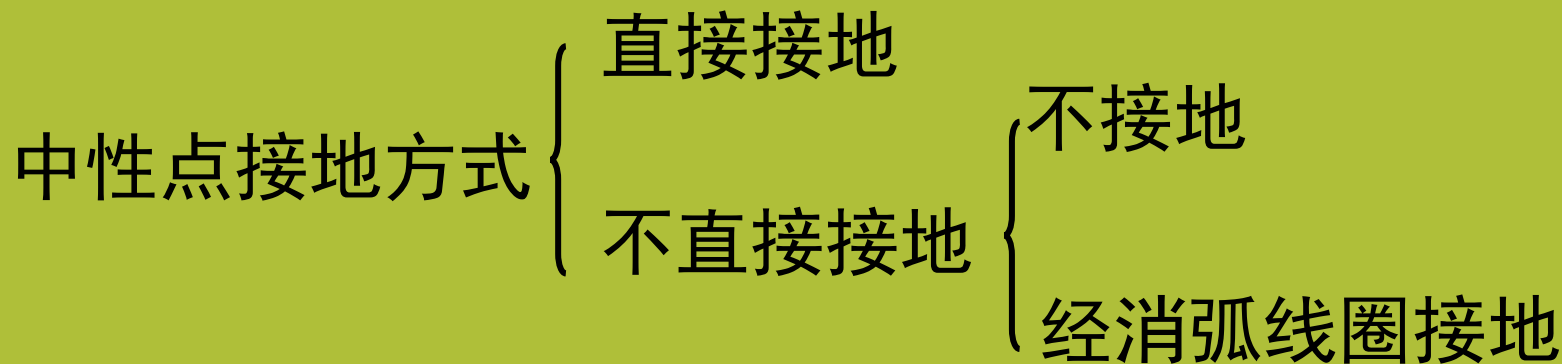
图1-6 采用架空线路时与 220kV 以上电压等级 相适应的输送功率和输送距离

第一章 电力系统的基本概念

- 第三节 电力系统的接线方式和电压等级
- 几种典型接线方式的特点
- 额定电压等级及适用范围
- 电力系统中性点的运行方式

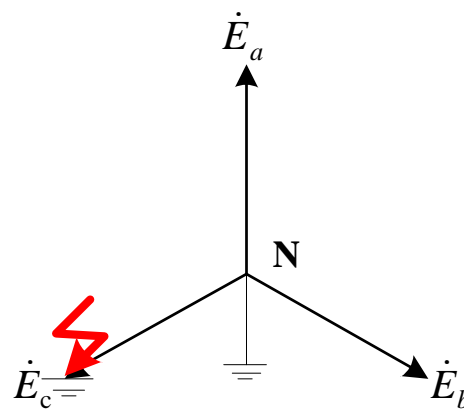
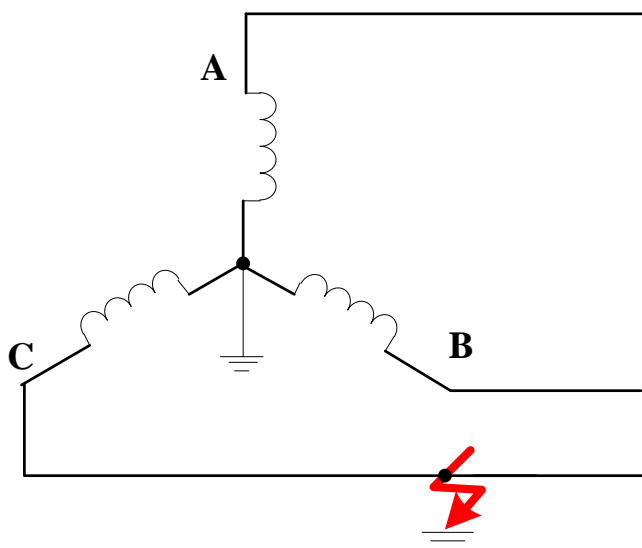
电力系统中性点的运行方式

- 电力系统的**中性点**：星形联结的**变压器**或**发电机**的中性点
- 中性点运行方式即**中性点接地方式**，是关系到供电可靠性、绝缘水平、接地保护、通信干扰等方面的一个复杂问题
- 中性点运行方式的分类



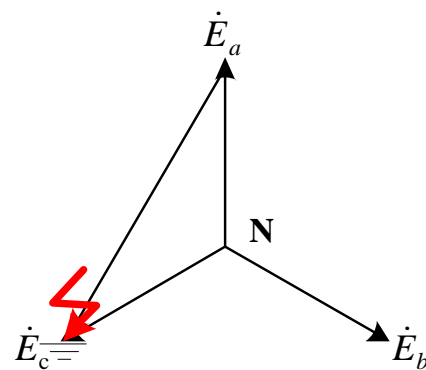
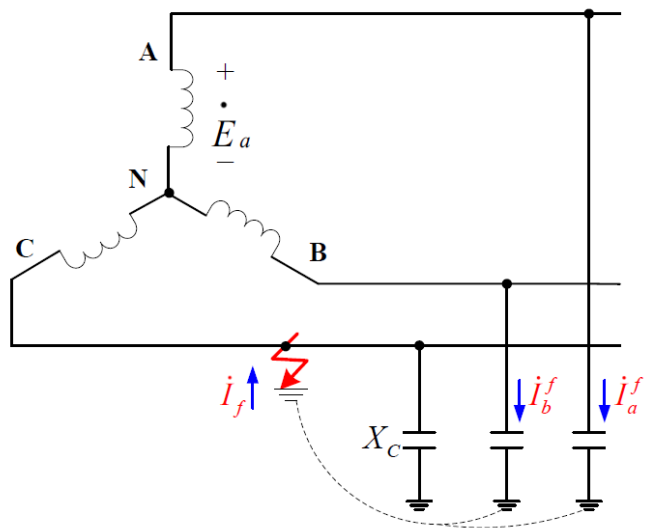
中性点直接接地

- ❑ **缺点**：单相接地短路时，形成短路回路，接地相电流很大，必须切除故障相，甚至三相（**供电可靠性低**）。
- ❑ **优点**：故障时，正常相的对地电压基本不升高（**对绝缘要求不高**）。
- ❑ **适用范围**：**110kV及以上系统**



中性点不接地

- **优点**：单相接地短路时，不形成短路回路，接地电流不大（容性电流）可不必切除接地相（**供电可靠性高**）
- **缺点**：故障时，正常相**对地**电压升高为相电压的 $\sqrt{3}$ 倍（线电压）（**对绝缘要求高**）
- **适用范围**：60kV及以下系统



中性点经消弧线圈接地

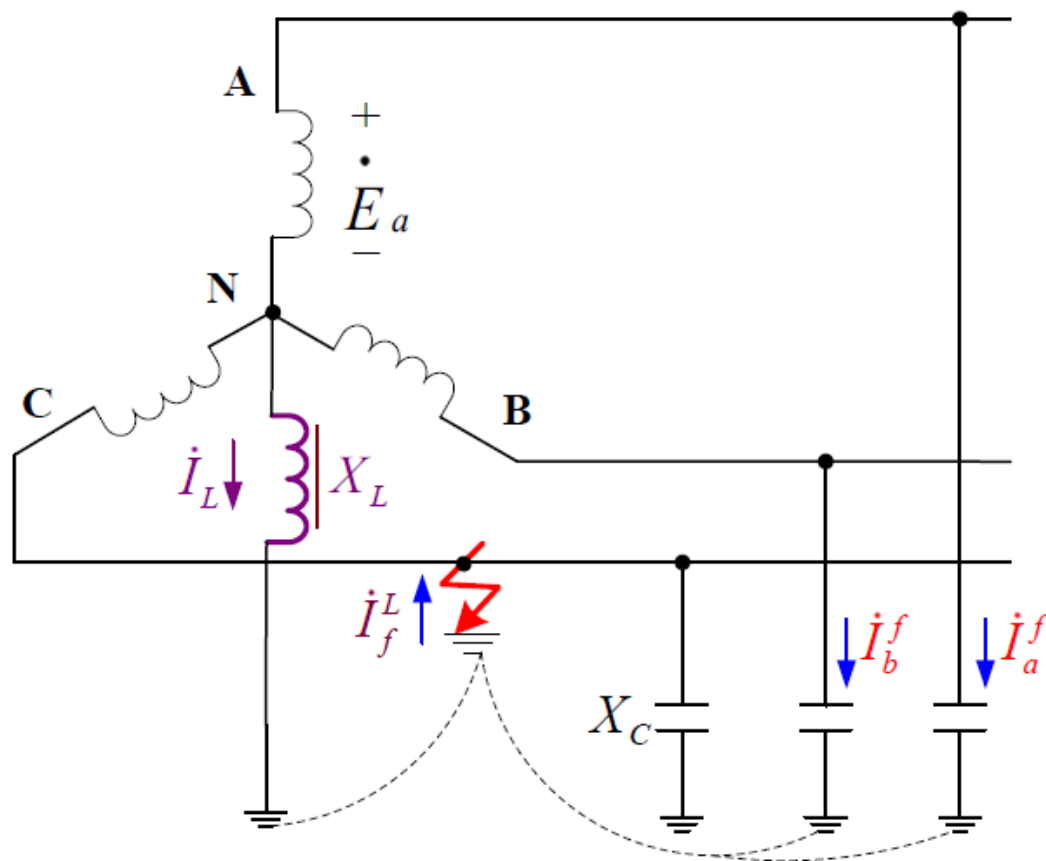
■ 经消弧线圈接地

- 什么是消弧线圈？
- 为什么要加装消弧线圈？
- 什么时候需要加装消弧线圈？

第三节 电力系统的接线方式和电压等级

- 消弧线圈—电抗线圈
- 加装消弧线圈的理由
 - 不接地系统发生单相短路时，由于线路对地有电容，故障相接地点的电流为容性电流
 - 如果接地点容性电流过大，故障消失后，接地点电弧不能自行熄灭，瞬时性故障可能发展成为持续性故障
 - 消弧线圈的作用：向接地点提供感性电流，补偿之前的容性电流，减小接地点电流

第三节 电力系统的接线方式和电压等级



C相接地时的示意图

第三节 电力系统的接线方式和电压等级

■ 消弧线圈的适用范围：

- 是否装设消弧线圈取决于容性电流的大小
- 一般认为，对3~60kV网络，容性电流超过如下值时，中心点应装设消弧线圈。

电压等级	容性电流限值
3kV、6kV	30A
10kV	20A
35kV、60kV	10A

第三节 电力系统的接线方式和电压等级

■ 消弧线圈的补偿方式：

□ 根据补偿程度，分为：

- 过补偿：感性电流 $>$ 容性电流，最为常用的补偿方式
- 欠补偿：感性电流 $<$ 容性电流
- 全补偿：感性电流 $=$ 容性电流

第一章 电力系统的基本概念

- 第一节 电力系统概述
- 第二节 电力系统运行应该满足的基本要求
- 第三节 电力系统的接线方式和电压等级
- 第四节 电力工程学科和电力系统分析课程

第四节 电力系统工程学科和电力系统分析课程

■ 电力系统研究工具

□ 电力系统的物理模拟

- 通过等效模拟系统的实测或实验来进行研究：发电机、变压器、电动机等采用相应的实物模拟，通过表计直接观测系统中的各种物理现象
- 特点：元件数学模型不明确时，可进行物理模拟试验；可用于检验拟定数学模型的正确性；待研系统规模和参数调整范围受限

□ 电力系统的数字模拟

- 以计算机为工具，主要步骤：建立电力系统各种运行状态的数学模型→用数学方法求解模型→结果分析
- 电力系统分析软件包：PSCAD, DigSilent、PSASP等
- 实时数字仿真系统：RTDS

本章小结

- 电力系统的定义、组成、基本参量、接线图
- 电力系统运行的特点
- 对电力系统运行的基本要求
- 典型接线方式及其特点
- 电力系统**额定电压**的规定及电压配合
- 电力系统**中性点运行方式**及其特点和适用电压等级

课外作业

- 1、全国主要有哪些主要大型电网公司和发电公司？
- 2、到目前为止中国电力企业在国际上的运营和收购情况？