电网基础及新能源并网控制技术

① 为什么学习这门课程?

② 这门课程学些什么内容?

③ 如何学习这门课程?

课程介绍

电网基础及新能源并网控制技术

- 电力系统分析
  - 电力系统绪论
  - 电力系统稳态模型
  - 电力系统的潮流分析与计算
  - 电力系统稳态运行与控制
- 新能源发电变流技术
  - 新能源发电概述
  - 并网逆变器及其控制
  - 并网光伏发电及逆变器技术
  - 风电变流器及其控制

课程介绍

课程名称：电网基础及新能源并网控制技术

学时数：40　学分：2

先修课程：《电路分析基础》、《电力电子技术》、《自动控制原理》等；

考核方法：开卷笔试

成绩评定：平时成绩30% + 期末成绩70%

参考资料

《电力系统分析》 何仰赞等， 华中科技大学出版社

《电力系统分析》吴俊勇等，清华大学/出版社

网课：电力系统分析 孙宏斌，姜齐荣

http://www.icourses.cn/sCourse/course_2978.html

《光伏与风力发电系统并网变换器》，周克亮，王政 译，机械工业出版社

《新能源发电变流技术》，张兴 主编，机械工业出版社

电力系统分析

第一章 绪论
第二章 电力系统稳态模型
第三章 电力系统潮流分析与计算
第四章 电力系统稳态运行与控制

第一章 绪论

§1 电能与系统
§2 发电厂：电能生产
§3 电力网：电能输送和分配
§4 交流电路的功率和复功率
§5 电力系统负荷：电能使用和消耗

第一章 绪论

§1 电能与系统

§2 发电厂：电能生产

§3 电力网：电能输送和分配

§4 交流电路的功率和复功率

§5 电力系统负荷：电能使用和消耗

问　题

1、人类为何偏爱电能?

2、什么是电力系统？如何组成？如何表示?

3、电力系统运行有何特点和要求?

4、互联电力系统是怎么回事?

5、如何对电力大系统进行控制?

6、电能是如何生产的?

一 人类为何偏爱电能?

- 现代社会最重要能源，应用十分广泛。
- 美国1996年用电情况：
  - **2.68kW/人（装机容量）**
  - **1.3kW/人（用电量）**
- 显著优点：
  - **洁净**（从使用的角度看）：保护环境
  - **方便**：输送、分配、使用（能量形式转化容易）
  - **电气化**：机械化、自动化，提高产品质量和劳动生产率
  - **节能**：能耗小，能量转换效率高

二、什么是电力系统？ (I)

- **系统**定义：由**相互作用**、**依赖的**若干部分组成的具有**特定功能**的**有机整体**，它又从属于一个更大的系统（《系统论》）

什么是电力系统？ (II)

- 电力系统：完成电能**生产**、**输送**、**分配**、**消费**的统一整体。通常由发电机、变压器、电力线路和负荷等电力设备组成的三相交流系统。
- **世界上最大的人造机器**：人类20世纪最伟大的20项发明之一，当今社会最庞大的工业之一，是国民经济的支柱产业（我国1/4国有资产）
- **国防资源**，电力安全是国防安全的基础（水库、火电厂、输电线路、核电厂）（战争：石墨炸弹、恐怖袭击）

三、电力系统如何组成?

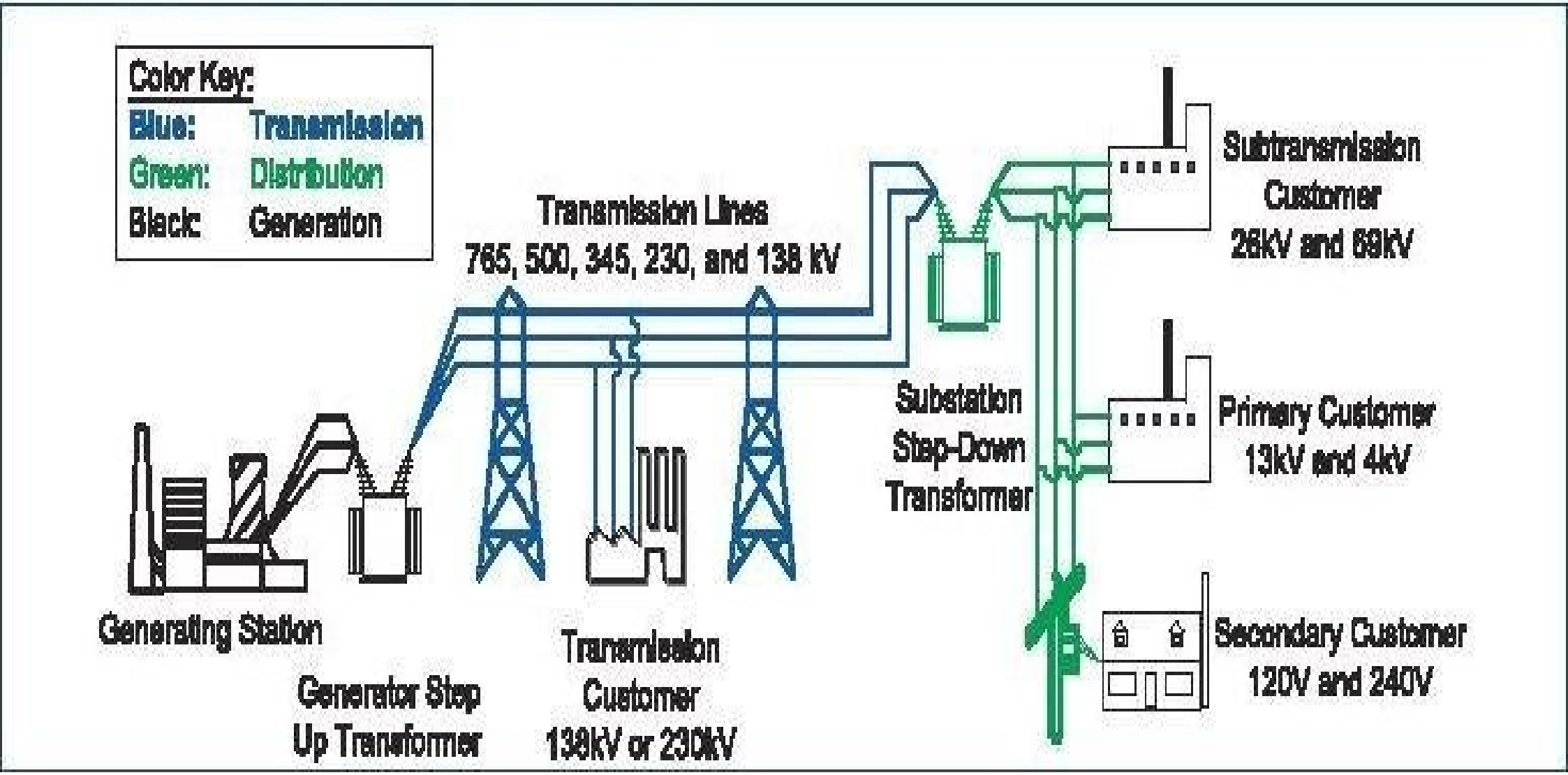
- 一次系统（高电压，本课程涉及的内容）

- 二次系统（低电压）：保证一次系统安全/可靠/经济运行的 信息系统及其操作机构。

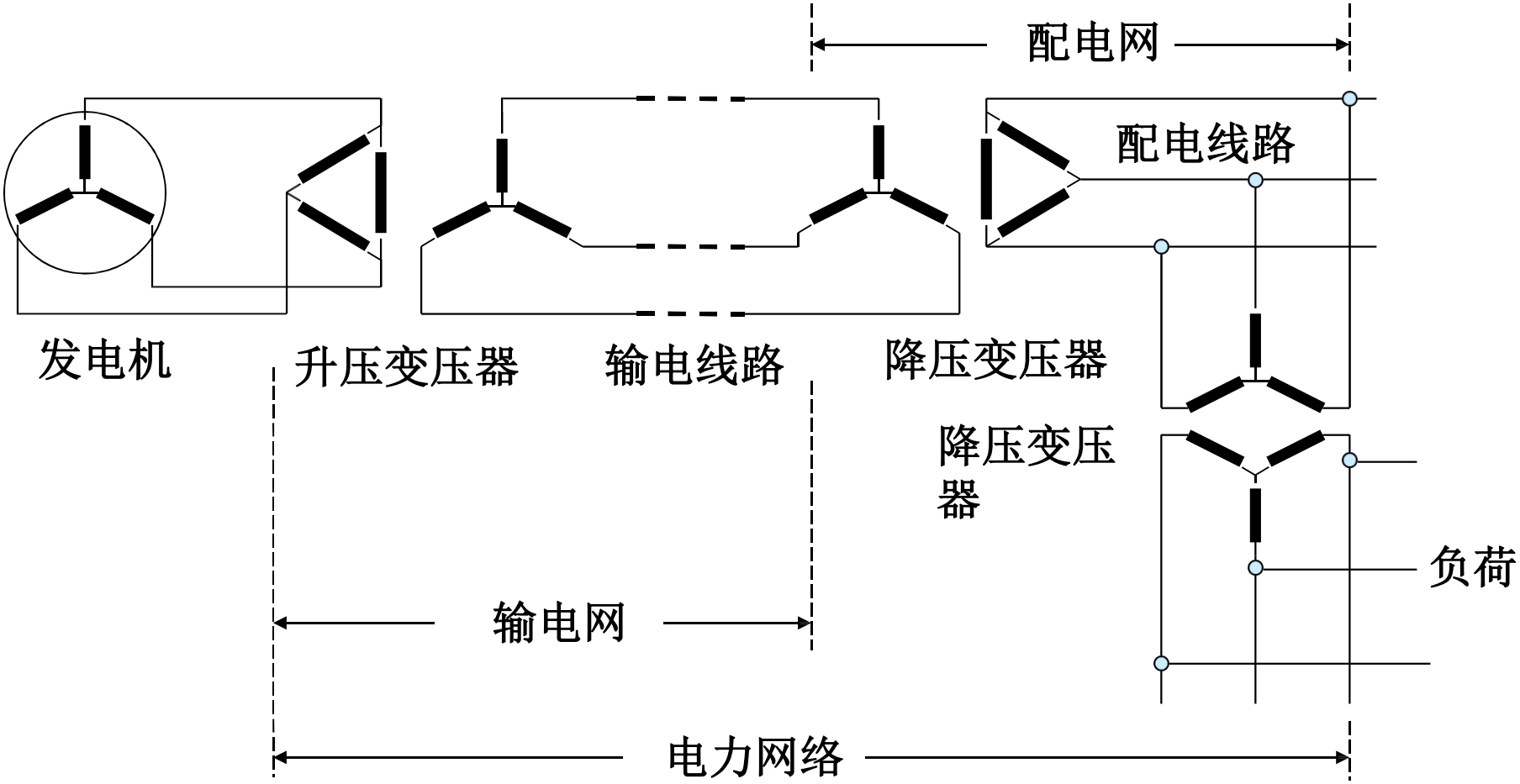
一次系统如何组成?

- 发电机：电能生产，一次能源转换成二次能源(电能)，火/水/核/风/太阳/地热等
- 电力网络（输配电系统）：电能输送和分配，包括：输电网（输电系统）和配电网（配电系统）。
- 负荷（用户）：电能消费，将电能转换成其他形式能量，电动机/照明/电炉等

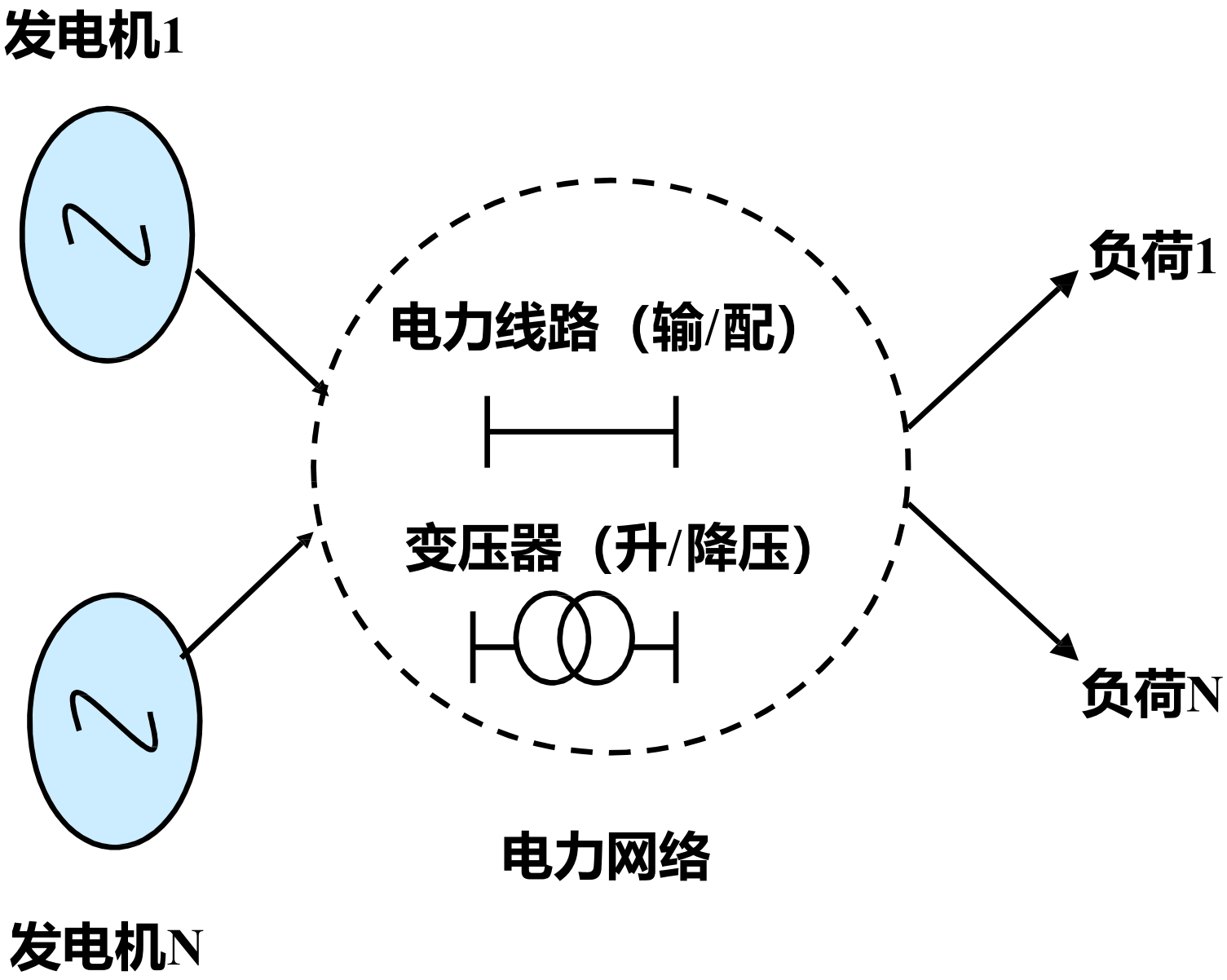
美国电力一次系统物理基本结构



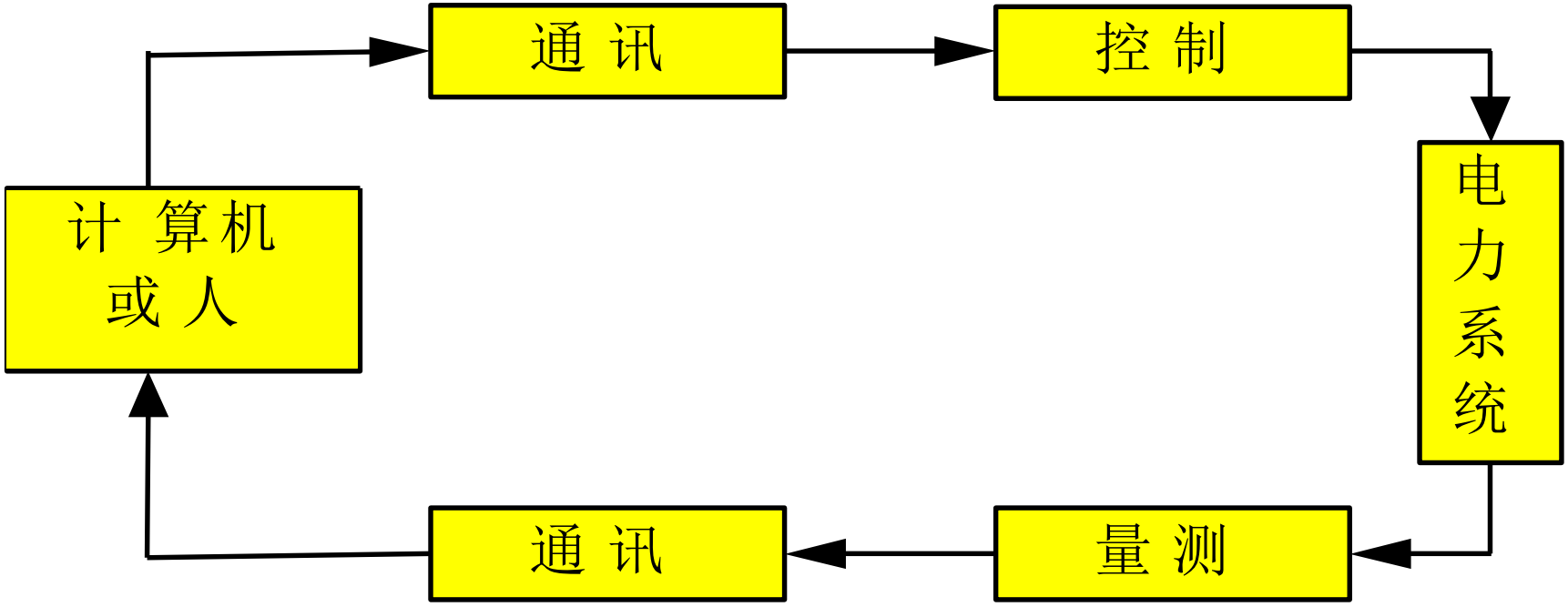
简单电力系统的三相电路图



电力网络与INTERNET（C/S结构）



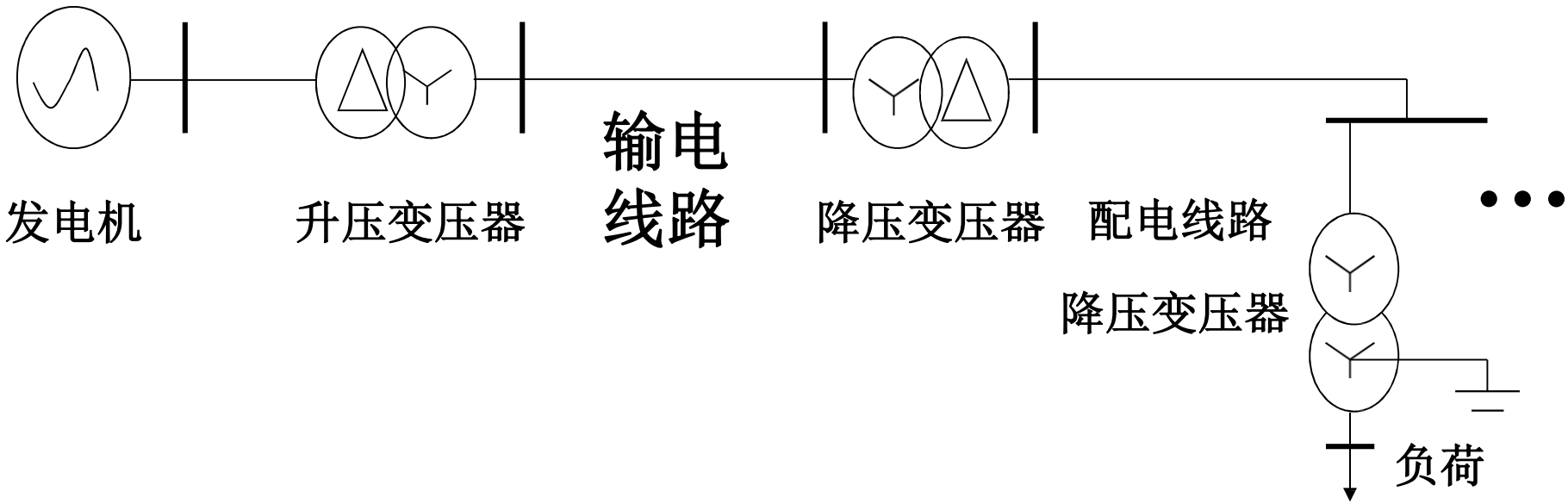
二次系统如何组成?



（信息系统）

四、复杂电力系统如何表示?

- **单线图：实际电力系统非常庞大复杂，为突出重点，用单线代表三相，反映电力设备间电联系**



简单电力系统单线图

五、如何构成更大的系统?

- 电力系统
- 发电厂动力部分
- 热力网

→ 动力系统

- 发电厂动力部分：锅炉、汽轮机、水库、水轮机、核反应堆等

单线图常用符号（动力系统）

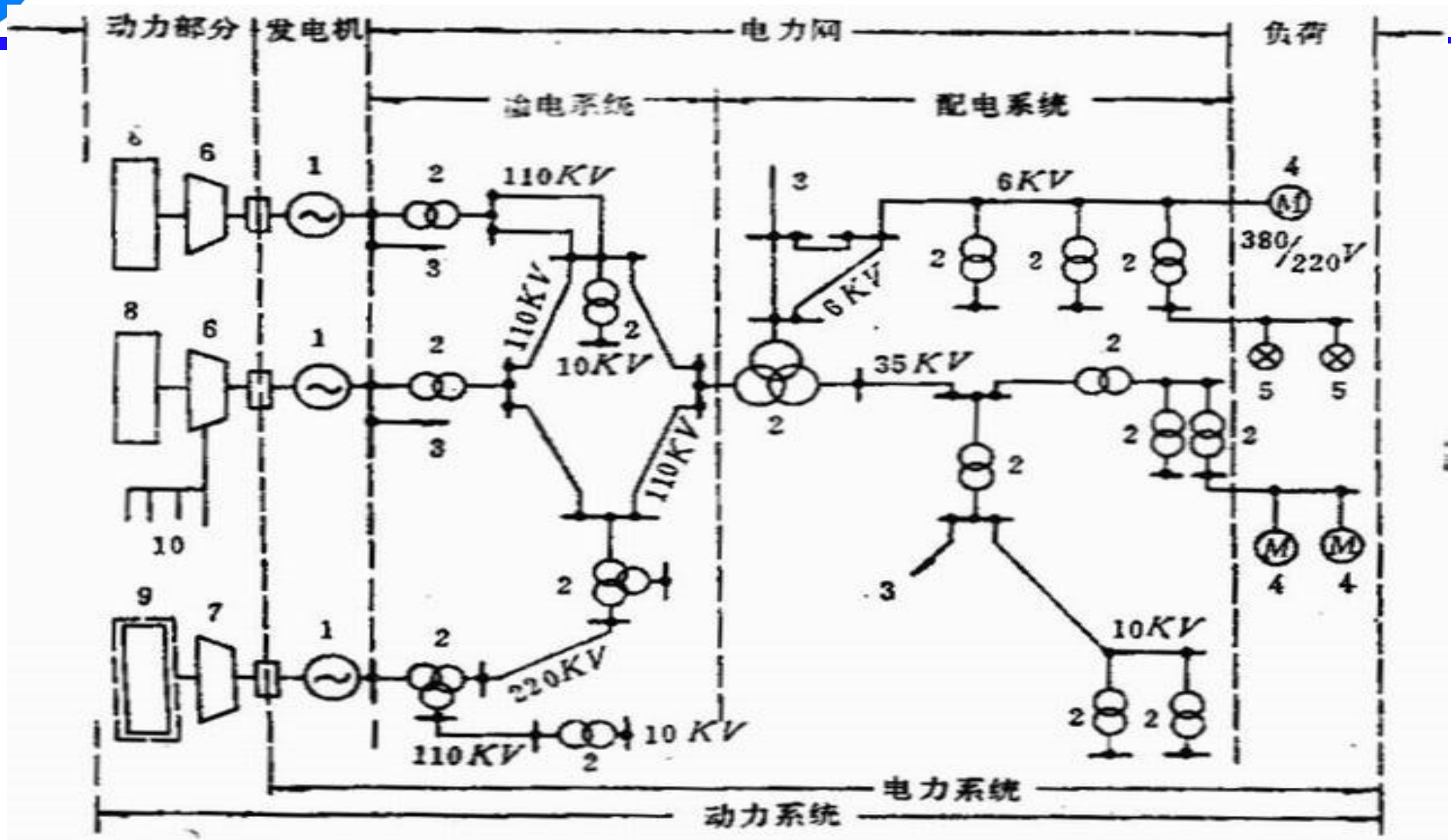


图 1-4 复杂电力系统的单线图

1—发电机；2—变压器；3—负荷；4—电动机；5—电灯；6—汽轮机；7—水轮机；8—锅炉；9—水库；10—热力网

单线图常用符号（动力系统）

发电机

双绕组变压器（其中 Δ/Y 表示三相绕组接法）

三绕组变压器

电力线路，两端短线表示母线

电动机负荷

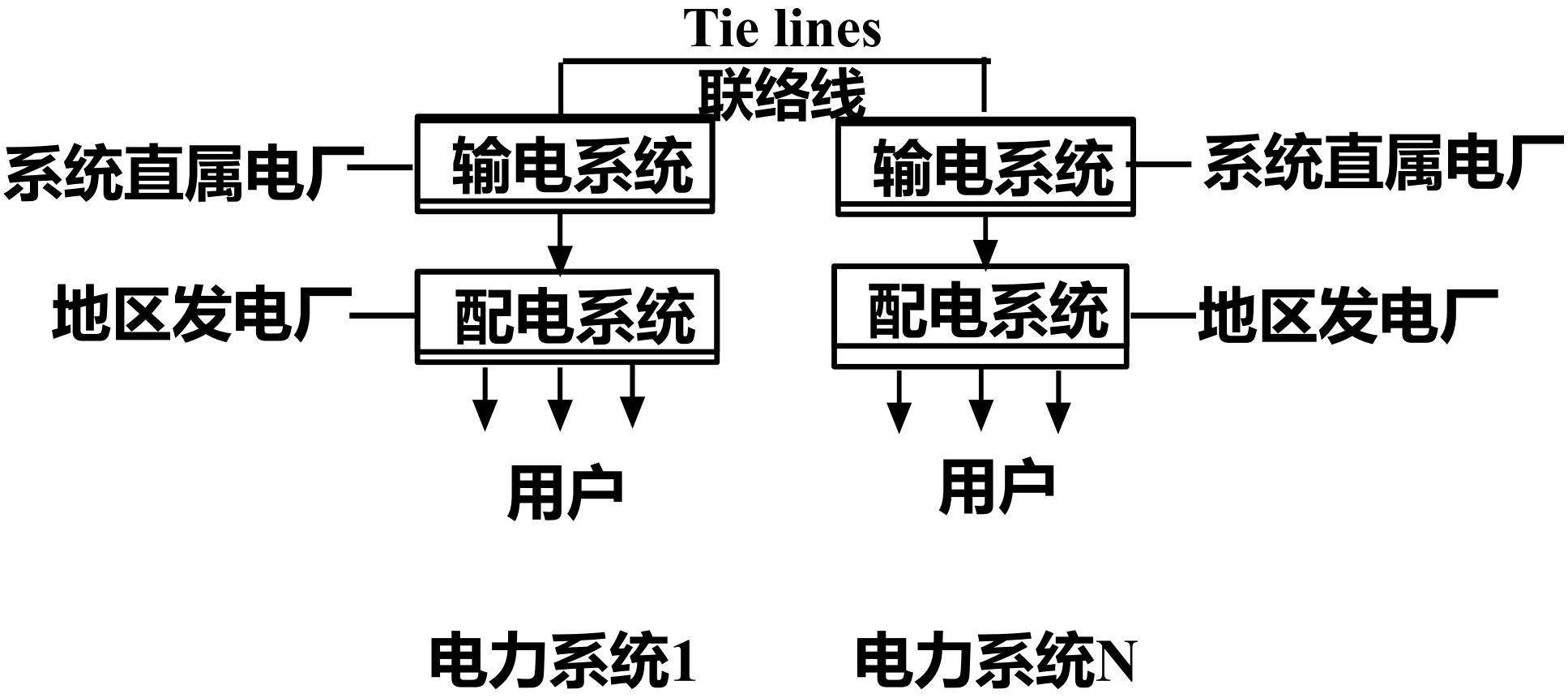
照明负荷

六、电力系统运行特点与要求有哪些?

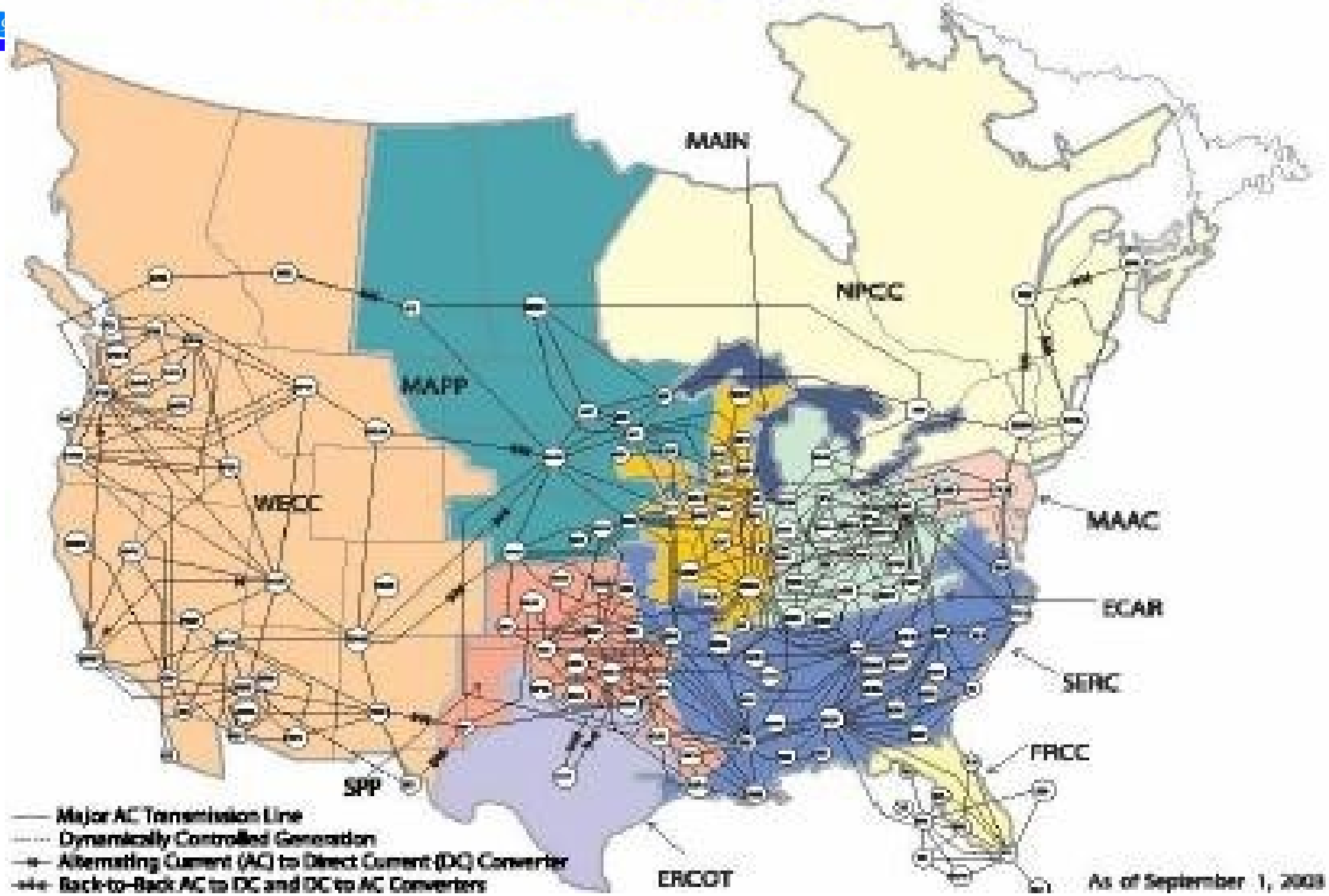
- 特点
  - 密切性
  - 短促性
  - 同时性
- 要求
  - 可靠性高（第1、2、3级负荷）
  - 质量高(频率、电压、波形)
  - 经济性好，公司经济效益
  - 环境友好

七、现代互联电力系统

- 联路线，交换功率，提高可靠性，系统规模越来越大



北美互联电力系统


MAIN
NPCC
MAPP
WECC
MAAC
ECAR
SERC
FRCC
SPP
ERCOT
Major AC Transmission Line
Dynamically Controlled Generation
Alternating Current (AC) to Direct Current (DC) Converter
Back-to-Back AC to DC and DC to AC Converters
As of September 1, 2003

2005年全国联网示意图

电力系统为何要互联?

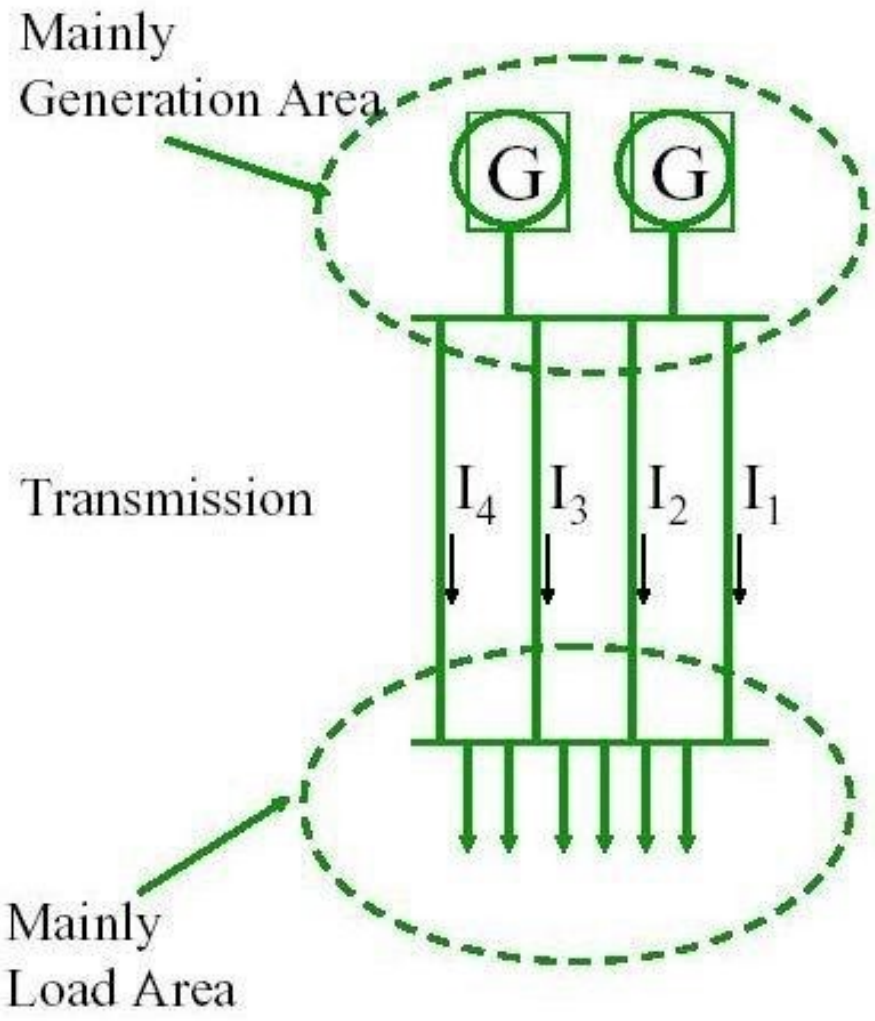
- 减少总装机容量（错峰效应）；
- 减少备用容量（同时故障和检修概率小）
- 提高供电可靠性、电能质量（故障和异常时相互支援）；
- 合理利用动力资源，可经济运行（水、小火电、经济分配）

互联带来了什么问题?

- 超高压互联设备的投资大；
- 系统规模大而复杂，运行难度大，局部故障可能危及整个互联系统，安全风险大。
- 电网并联回路增多，故障电流大。

- 随着现代信息技术、控制技术应用，自动化水平的提高，缺点正在逐步克服。

电力大系统的运行风险： 多米诺骨牌

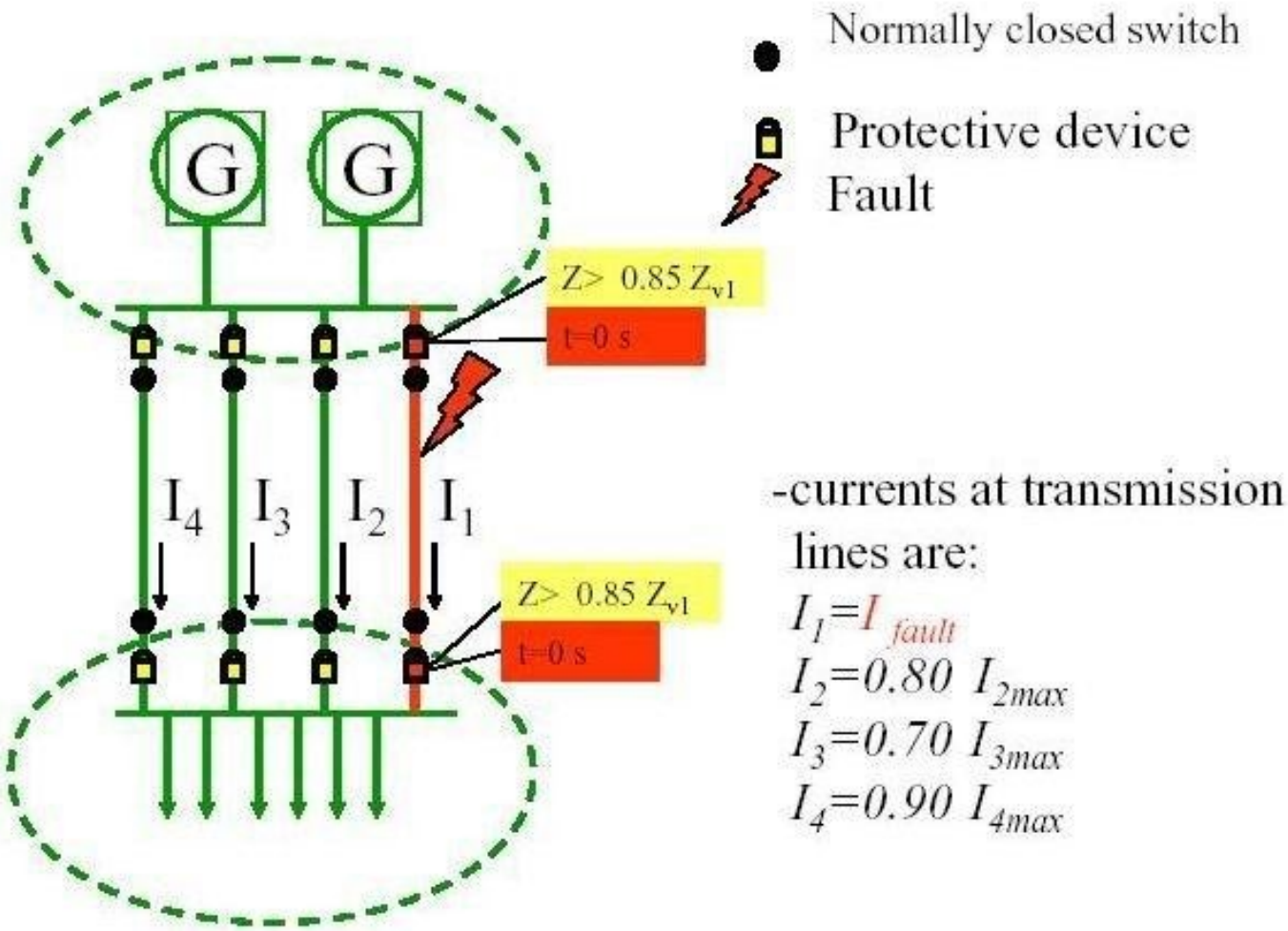


Normal state:

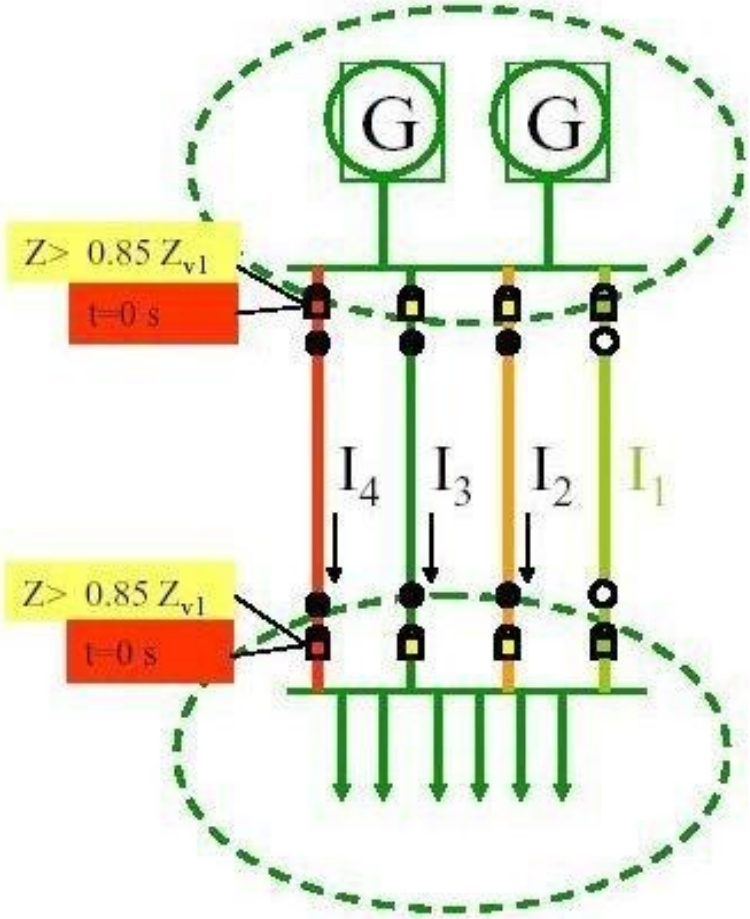
-voltage constraints for all nodes are satisfied

-current constraints at all sections are satisfied

电力大系统的运行风险： 多米诺骨牌



电力大系统的运行风险： 多米诺骨牌



Normally closed switch

Protective device

Overloaded line

Out-of-service line

-currents at transmission lines are:

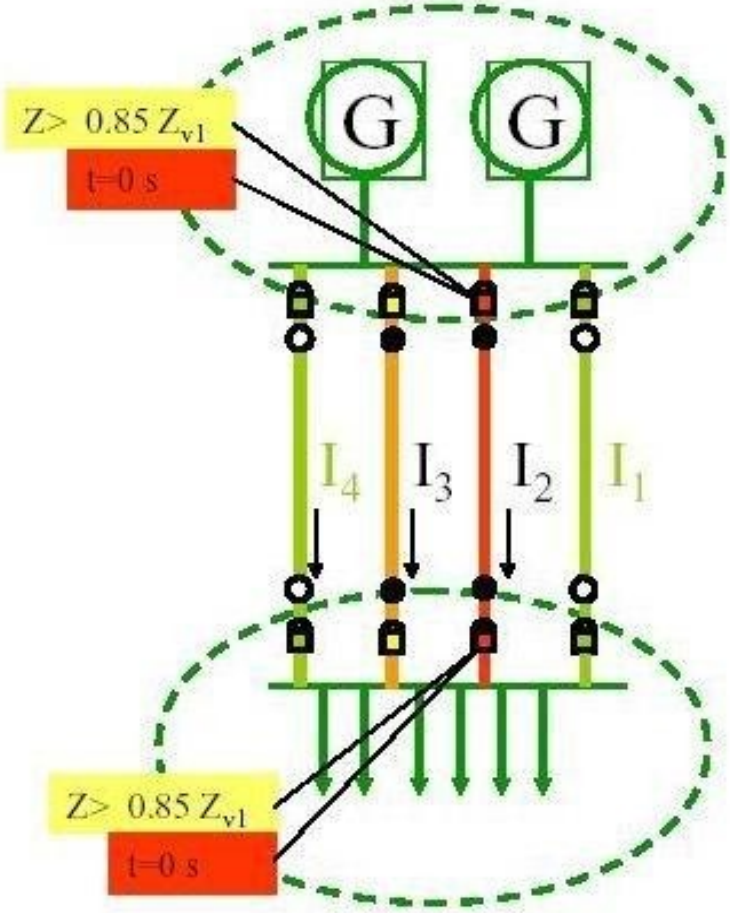
$I_1=0$

$I_2=1.12\ I_{2max}$

$I_3=0.92\ I_{3max}$

$I_4=2.00\ I_{4max}$

电力大系统的运行风险： 多米诺骨牌



Normally closed switch

Protective device

Overloaded line

Out-of-service line

-currents at transmission lines are:

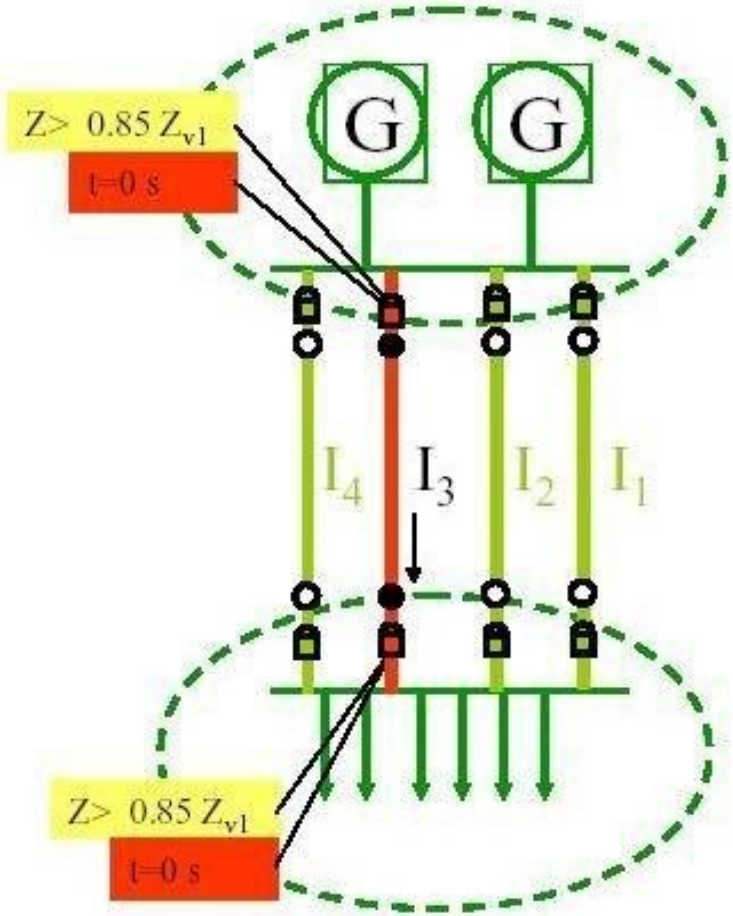
$I_1=0$

$I_2=2.5\ I_{2max}$

$I_3=1.5\ I_{3max}$

$I_4=0$

电力大系统的运行风险： 多米诺骨牌



Normally closed switch

Protective device

Overloaded line

Out-of-service line

-currents at transmission lines are:

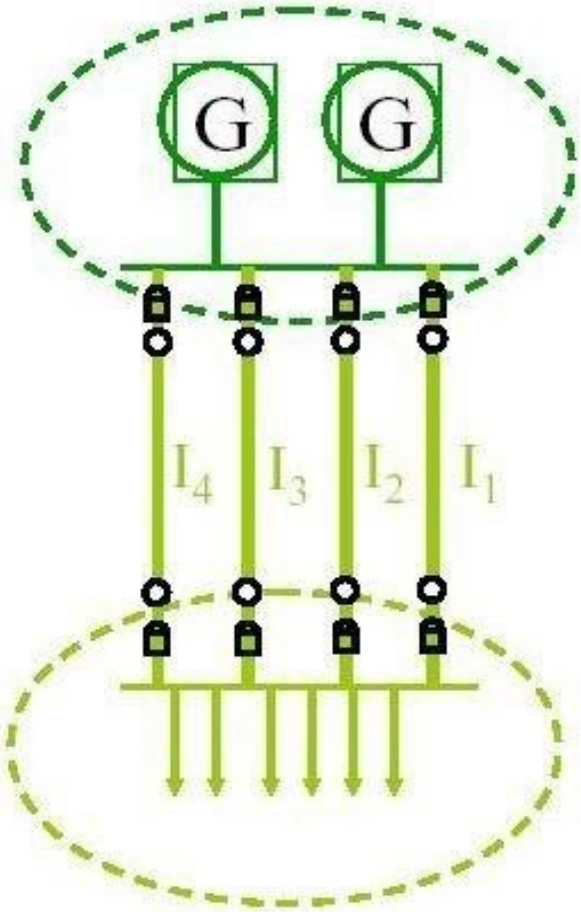
$I_1=0$

$I_2=0$

$I_3=3\ I_{3max}$

$I_4=0$

电力大系统的运行风险： 多米诺骨牌



Normally closed switch

Protective device

Out-of-service line

-currents at transmission lines are:

$I_1=0$

$I_2=0$

$I_3=0$

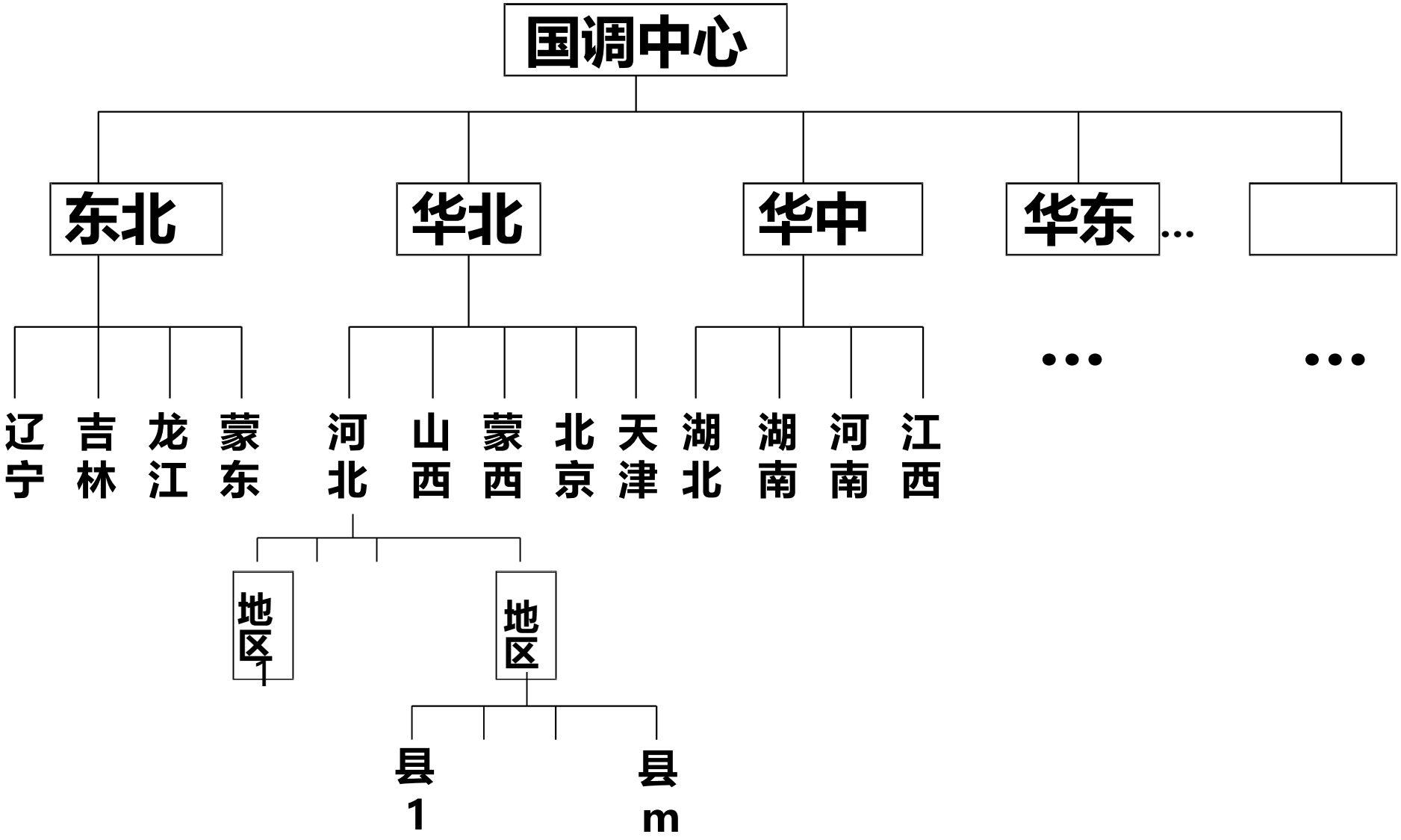
$I_4=0$

八、如何对电力大系统运行进行控制?

- 我国做法:
  - 集中管理（系统的安全、经济性）
  - 分层控制（五级调度）
- 调度自动化

(以国家电网公司为例)

五级调度



第一章 绪论

§1 电能与系统

§2 发电厂：电能生产

§3 电力网：电能输送和分配

§4 交流电路的功率和复功率

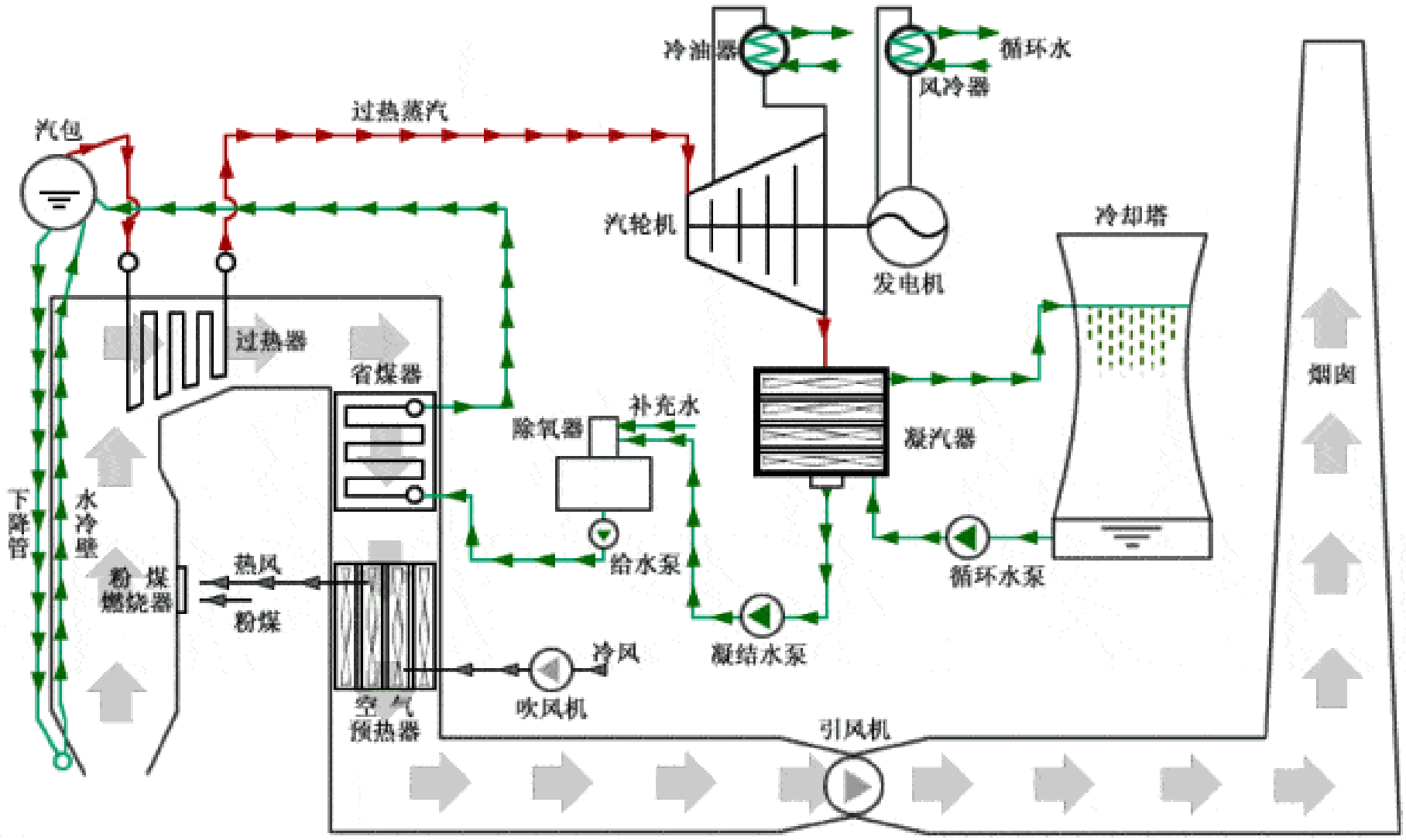
§5 电力系统负荷：电能使用和消耗

一、火力发电

- 目前最主要电源，比例大于70%
- 燃料：煤、石油或天然气
- 化学能→热能→机械能→电能

- 组成：
  - 燃烧系统：燃料→灰渣，风（空气）→烟
  - 汽水系统：水←→蒸汽，循环水（冷水←→热水）
  - 电力系统：发电机、变压器、输电线路等

火力发电原理


冷油器
循环水
风冷器
过热蒸汽
汽包
汽轮机
发电机
冷却塔
过热器
省煤器
烟囱
补充水
除氧器
凝汽器
下降管
水冷壁
给水泵
循环水泵
热风
粉煤
燃烧器
粉煤
冷风
凝结水泵
吹风机
空气
预热器
引风机

世界在役最大的火力发电厂
内蒙古大唐国际托克托发电公司

自2000年8月1日开工，到2007年底，建成投产**8台60万千瓦**机组和**2台30万千瓦**机组。
五期扩建工程**2台国产66万千瓦**超超临界机组，分别于2016年12月24日、2017年2月25日投产
通过**500千伏**四回线接入首都电网，是首都安全用电的主力电源点，占北京用电量的近25%。

火力发电存在哪些问题?

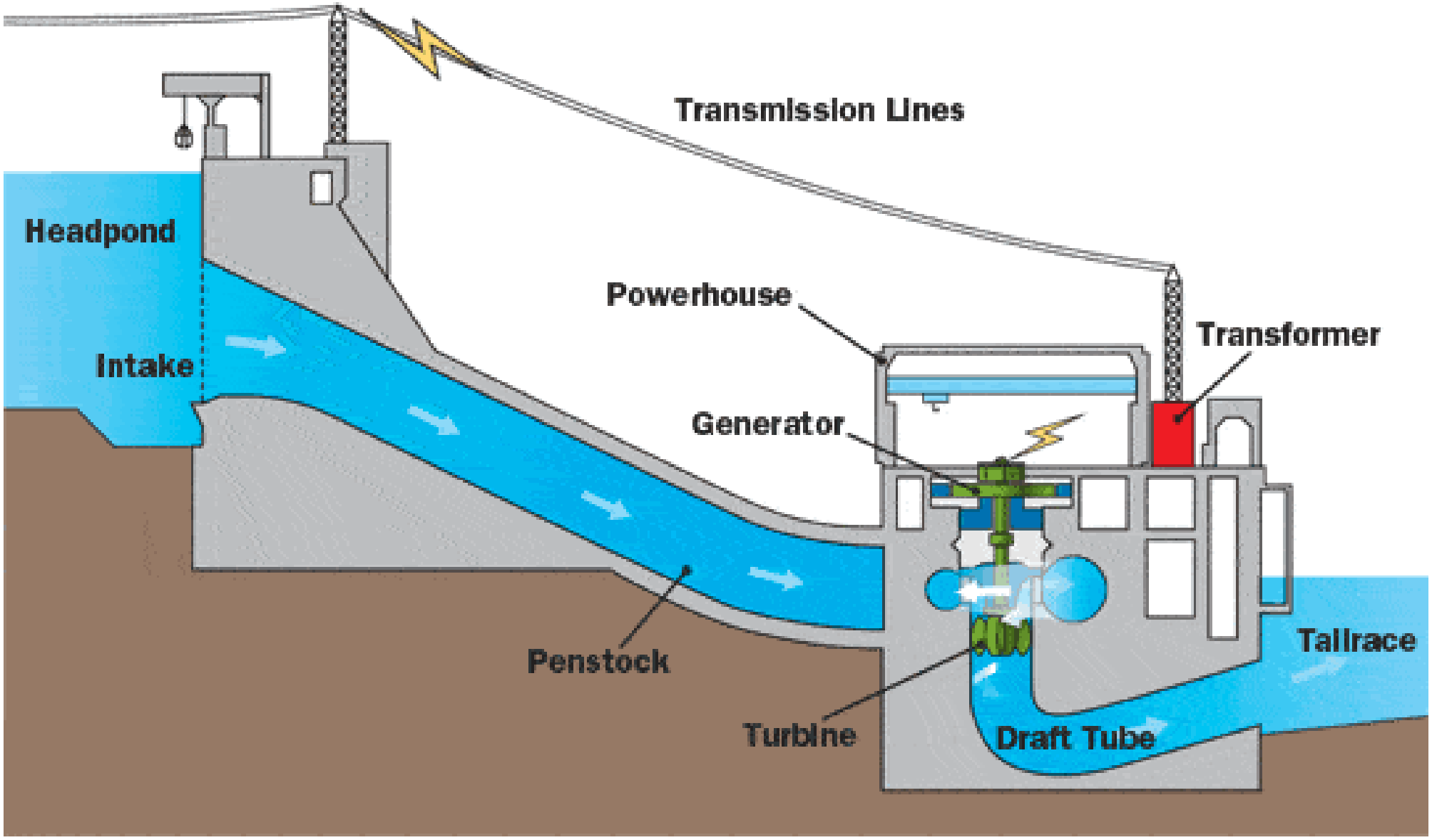
- 安全问题：采矿和运输中的安全性灾难。
- 社会代价：采矿和运输的基础设施等
- 环境问题：酸雨、温室效应、可吸入颗粒物等
- 效率问题：热电厂（热电联产）
- 不可再生

二、水力发电

- 目前最重要的电源之一，比例大于10%
- 河流水势能→水动能→机械能→电能
- 容量取决于水位差和流量

- 组成（较火电厂简单）
  - 水库
  - 水轮机
  - 电力系统：发电机、变压器、输电线路等

水力发电原理


Transmission Lines
Headpond
Intake
Powerhouse
Transformer
Generator
Penstock
Tailrace
Turbine
Draft Tube

全世界最大的水力发电站

三峡电站最后一台水电机组，2012年7月4日投产，32台单机容量为70万千瓦的水电机组，装机容量达到2240万千瓦。

1919年，孙中山先生在《建国方略之二--实业计划》中提出建设三峡工程的设想。
1992年4月3日，**七届全国人大第五次会议**以1767票赞成、177票反对、664票弃权、25人未按表决器通过《关于兴建长江三峡工程的决议》，于2009年全部完工。

水力发电有哪些优点?

- 最**干净**能源之一
- 最**廉价**能源之一：无需燃料，运行维护简单
- **可再生**能源之一
- **综合水利**工程：同时解决发电、防洪、灌溉和航运等多方面问题。
- **良好**启动和调节**性能**：启动到并网供电速度快（5分钟），火电厂（数小时）；启动简单，适于遥控。可满足电力需求的快速变化。
- 特殊的水电厂：抽水蓄能电厂，起“**削峰填谷**”作用。

广州抽水蓄能电站

(8*300MW发电电动机组)

世界第二大装机容量的抽水蓄能电站，一期工程4台30万千瓦机组于1994年3月全部建成发电；二期工程在2000年已全部投产。

水力发电存在哪些问题?

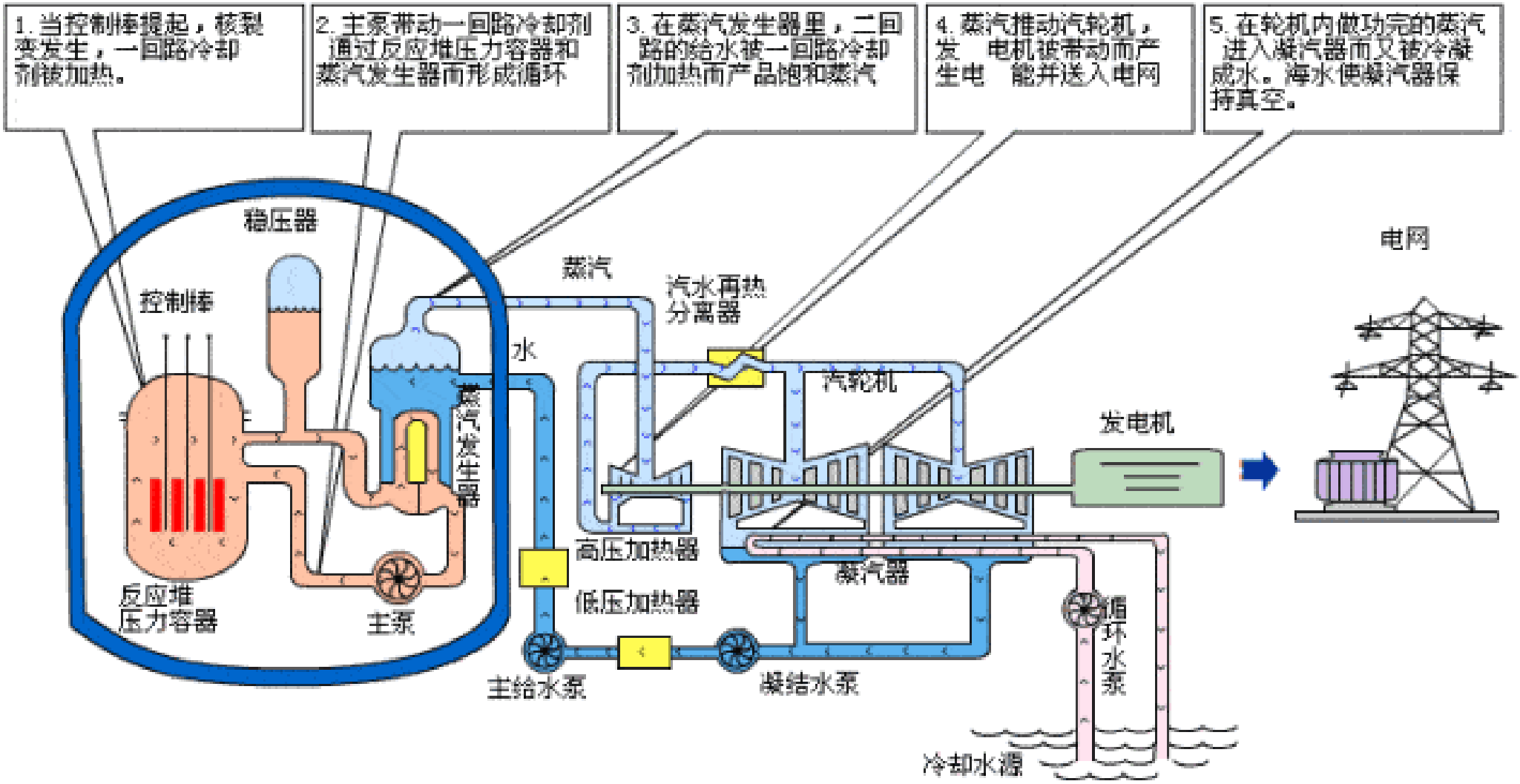
- 建设问题：投资大，工期长，存在国防安全、 库区移民、淹没耕地、破坏文物、可能破坏 自然生态平衡、破坏自然景观等问题。

- 运行问题：发电出力受气象、水文、防洪、灌溉和航运等综合影响，分枯水期和丰水期，出力不稳定，增加电力系统运行的复杂性。

三、核能发电

- 目前主要电源之一，比例大于10%
- 铀等核燃料→核裂变（链式反应），核能→热能→机械能→电能
- 组成：
  - 反应堆（“原子锅炉”）
  - 汽水系统（汽轮机）
  - 电力系统：发电机、变压器、输电线路等。

核能发电原理


1. 当控制棒提起，核裂变发生，一回路冷却剂被加热。
2. 主泵带动一回路冷却剂通过反应堆压力容器和蒸汽发生器而形成循环
3. 在蒸汽发生器里，二回路的给水被一回路冷却剂加热而产品饱和蒸汽
4. 蒸汽推动汽轮机，发电机被带动而产生电能并送入电网
5. 在轮机内做功完的蒸汽进入凝汽器而又被冷凝成水。海水使凝汽器保持真空。
稳压器
控制棒
蒸汽
汽水再热分离器
水
蒸汽发生器
汽轮机
发电机
电网
高压加热器
凝汽器
低压加热器
反应堆压力容器
主泵
主给水泵
凝结水泵
循环水泵
冷却水源

秦山 核电站

（2*300MW） 我国第一个核电站

核能发电有何优缺点?

- 大量**节省**煤、石油等**燃料**，避免燃料**运输**，如：50万kW电厂，150万T煤/年：20T铀/年。
- 无碳
- 无需空气助燃，**选址灵活**，可在地下、山洞里、水下或空气稀薄的高原。
- 与火电比，**造价高**，但**发电成本低**30-50%，规模愈大愈合算，超过50万kW，核电厂比火电厂合算。
- 问题：对**放射性污染**的担心，技术上能较好处理**污染防护**和**核废料**，但事故仍有发生。

四、大力发展中的新能源发电

- **太阳能**、**风能**、地热、垃圾燃料、潮汐能、燃料电池、生物质能、核聚变等
- **洁净**、**可再生**，**未来**主要**能源**形式，当前 国际上研究开发的热点。
- 有些新能源，如：太阳能和风力发电，间歇式，数量多，互联后在运行和管理方面存在不少特殊问题。
- 国家重点发展

新疆达坂城风电场

青海龙羊峡水光互补光伏电站

潮汐电站

法国朗斯潮汐电站建成于1966年,总装机容量为240MW 年发电量超5亿度,最大潮汐电站。

第一章 绪论

§1 电能与系统
§2 发电厂：电能生产
§3 电力网：电能输送和分配
§4 交流电路的功率和复功率
§5 电力系统负荷：电能使用和消耗

问　题

1、电能是如何传输的?

2、电力系统为何用功率作为变量?

3、交流电路的功率和复功率如何引入?

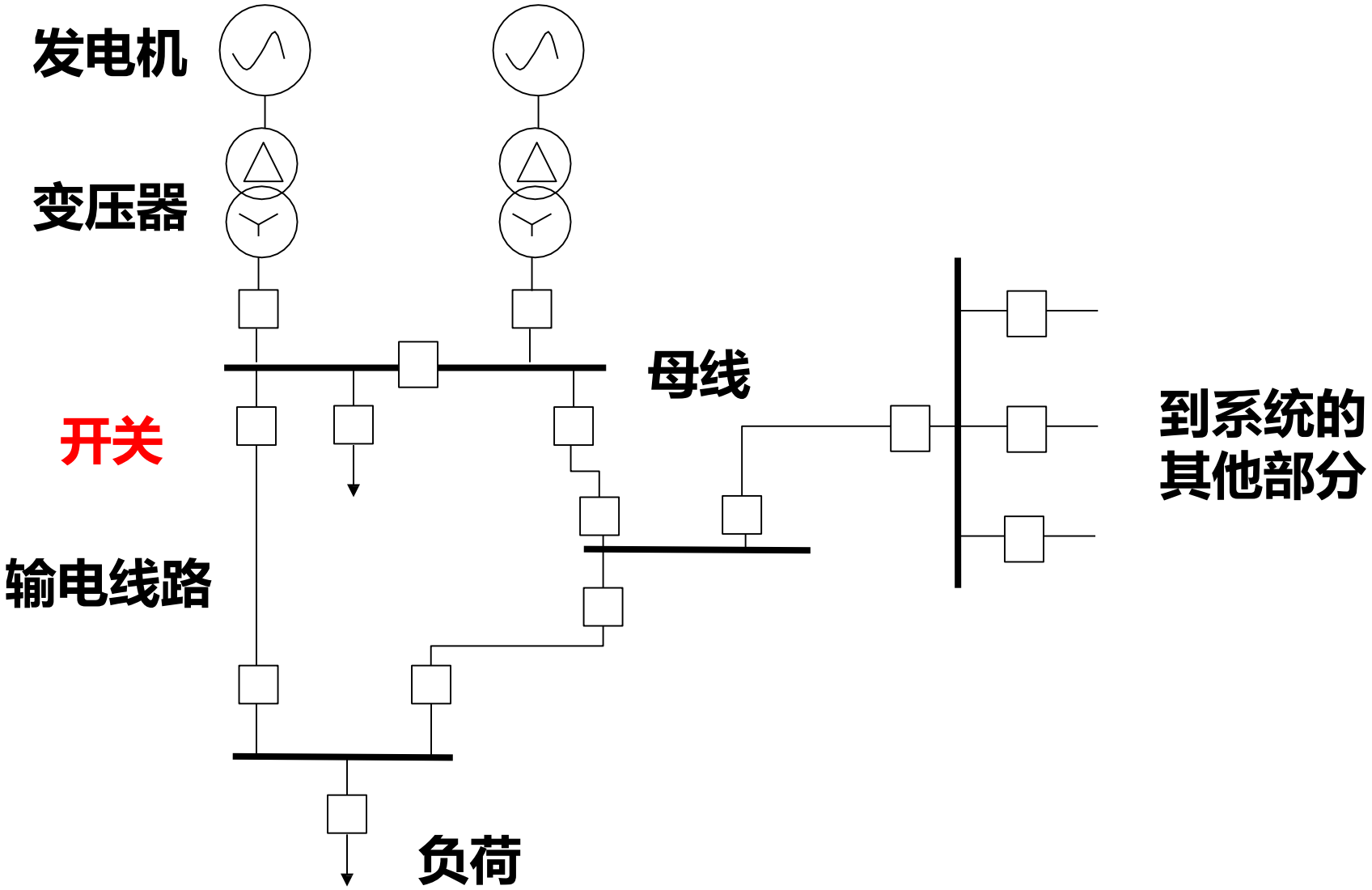
4、什么是电力系统负荷和负荷曲线?

5、典型负荷曲线有哪些？有何用途?

一、电力网有哪些主要设备?

- 除去发电机与负荷的子系统，本课程主要研究高压输电网，配电网看成负荷一部分。
- 主要设备：输电线路、变电站设备（变压器、 开关、母线等）。

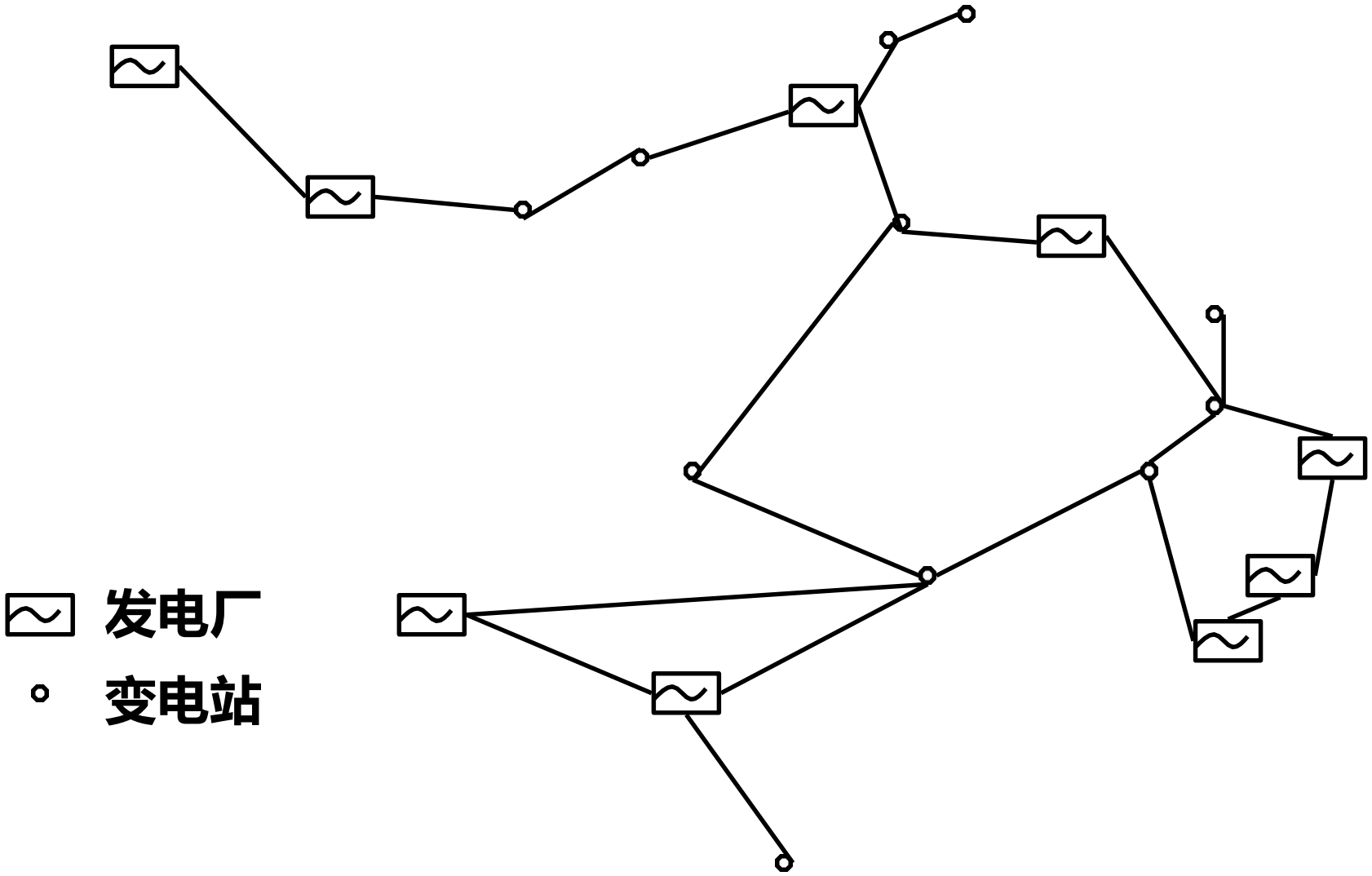
带有开关的接线图



二、电力网络是如何接线的?

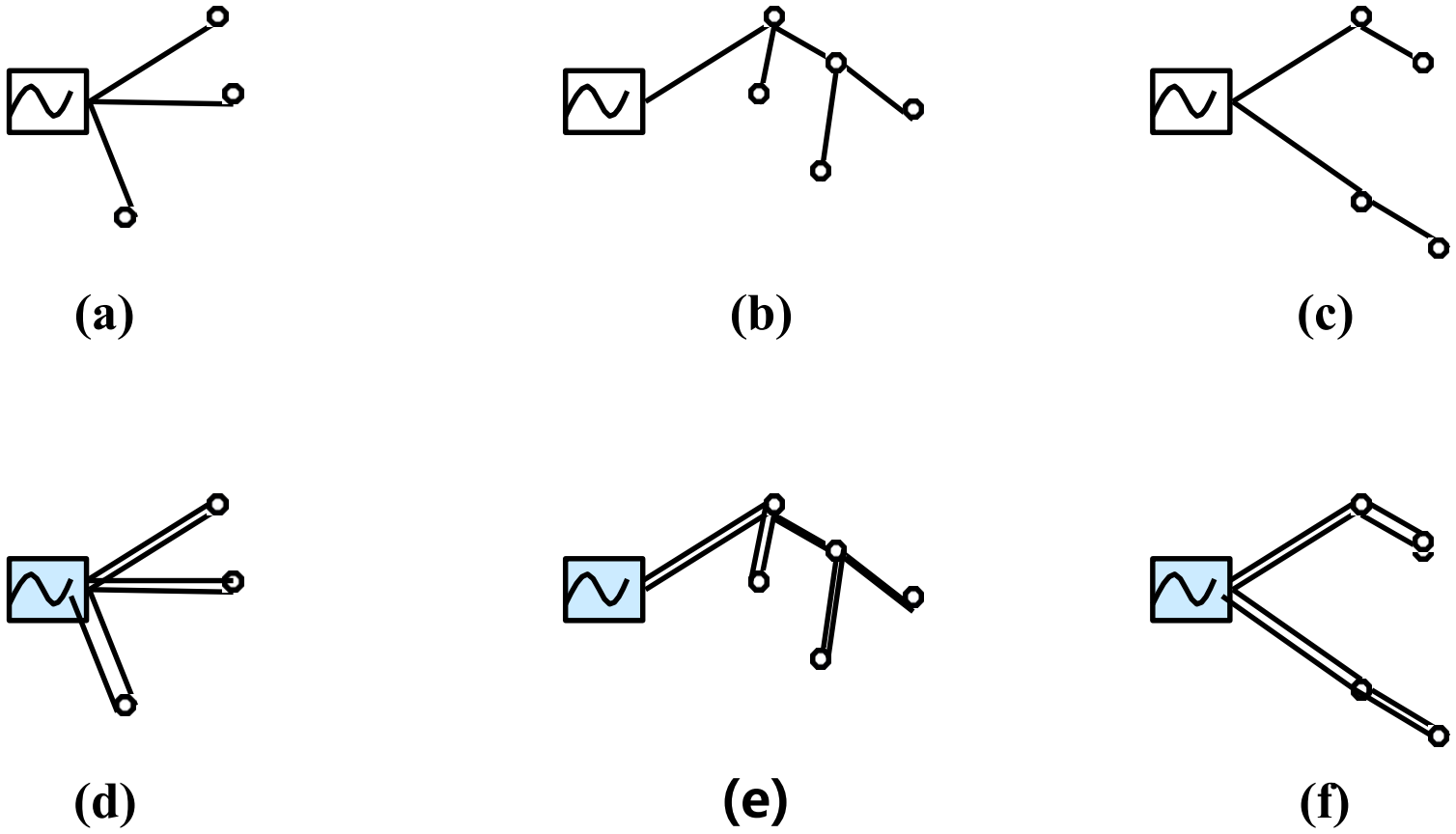
- 对保证供电的**可靠**、**优质**和**经济性**至关重要。
- 接线图：两种类型
  - **电气接线**：电力设备间电气联接关系
  - **地理接线**：发电厂、变电所间相对地理位置及其联接路径
- 接线方式（与计算机网络类似），综合考虑：供电 可靠、电压合格、运行灵活、操作安全、费用经济 等因素。
  - **开式**
  - **闭式**

地理接线图



开式接线（从一个方向得电能）

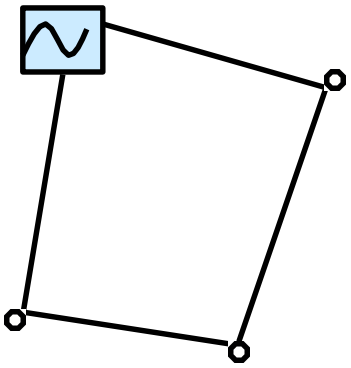
放射式　　干线式　　链式



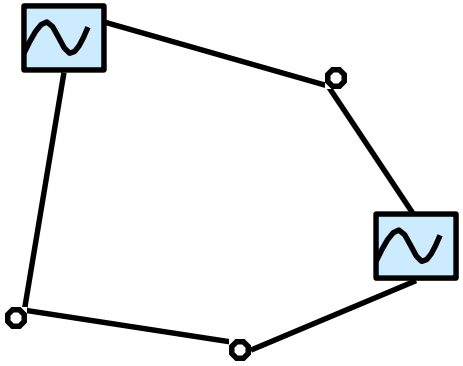
一般配电网运行时

闭式接线（多个方向获得电能）

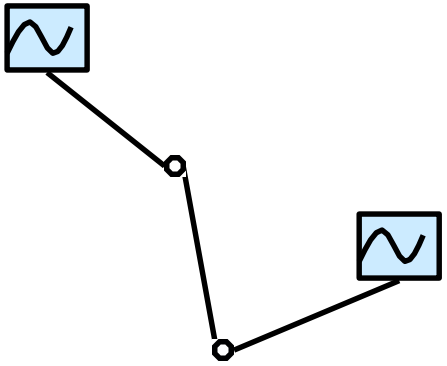
环式（单电源）



闭式（多电源）

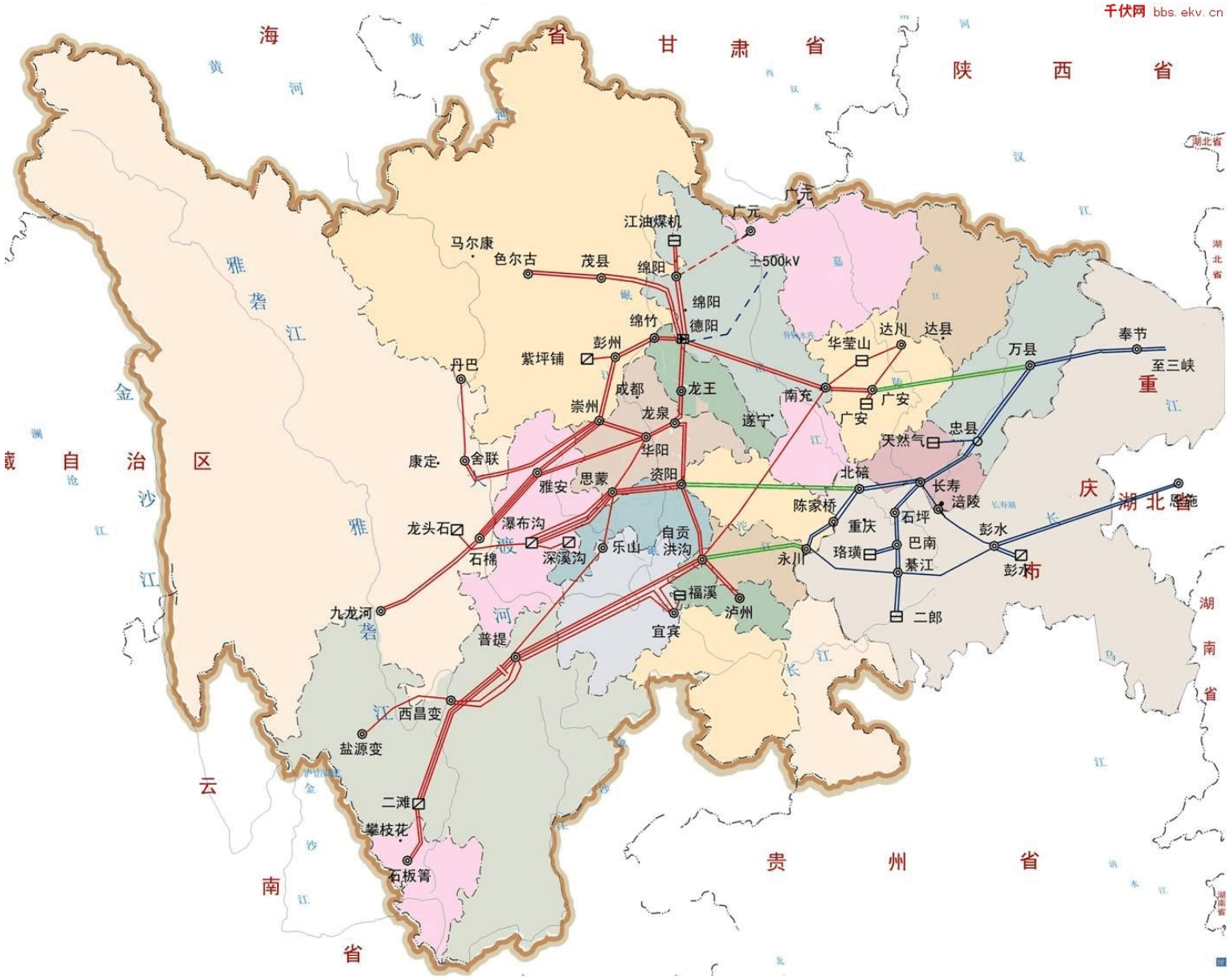


两端供电式

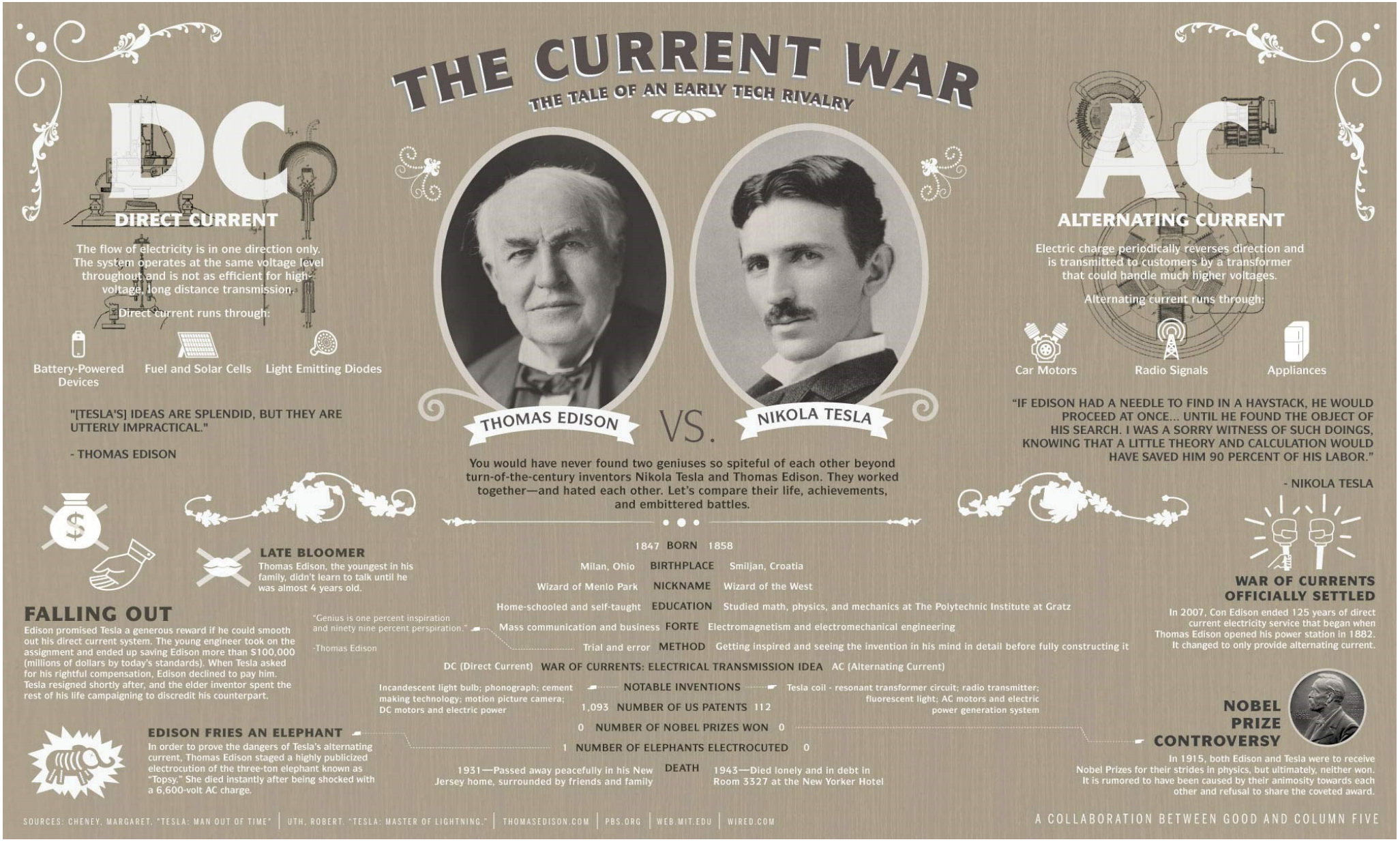


输电网运行时

实际电力网


千伏网 bbs.ekv.cn
海
省
甘
肃
省
陕
西
省
湖北省
广元
江油煤机
马尔康
色尔古
茂县
绵阳
±500kV
绵阳
绵竹
德阳
彭州
紫坪铺
丹巴
成都
龙王
崇州
龙泉
华阳
康定
舍联
雅安
思蒙
资阳
龙头石
瀑布沟
石棉
深溪沟
乐山
自贡
洪沟
福溪
泸州
宜宾
九龙河
普提
西昌变
盐源变
二滩
攀枝花
石板箐
华蓥山
达川
达县
南充
广安
遂宁
天然气
忠县
万县
奉节
至三峡
北碚
长寿
涪陵
陈家桥
重庆
石坪
珞璜
巴南
永川
綦江
彭水
二郎
湖北省
湖南省
贵
州
省
云
南
省
自
治
区
重
庆
市

远距离大容量输电，为何要采用高电压进行？！



三、电力网为何要采用高电压?

- 远距离大容量输电的压降和损耗：
  - 容量：$S=U*I$
  - 压降：$\Delta U=I*Z$
  - 损耗：$P_L=I^2*R$
  - 高电压→高稳定性（本课程不讨论）
- 考虑绝缘，发电机电压10-30kV，变压器升压到110-750kV；
- 高压线远距离输电，变压器降压给负荷；
- 大负荷6-110kV，民用负荷110/220V单相

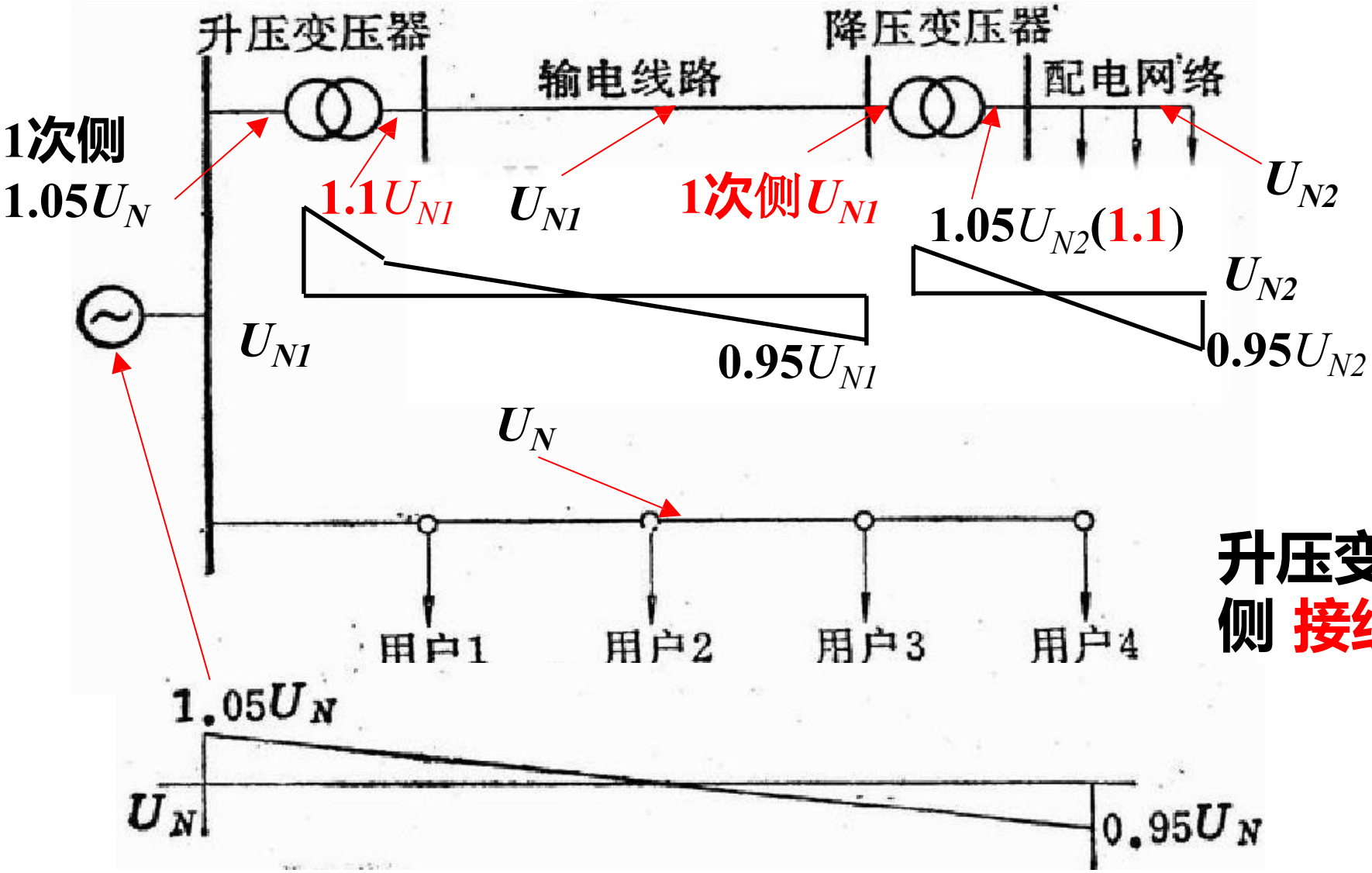
线路电压与容量、距离的关系

	电压等级(kV)	输送容量(MVA)	输送距离(km)
输电	750	2000~2500	500以上（跨大区）
	500	1000~1500	150~850（跨省）
	220	100~500	100~300（跨地区）
高中压配电	110(部分输电)	10~50	50~100（跨县市）
	35	2~10	20~50（县市内）
	10	0.2~2	6~20（市内）
低压配电	380/220V（楼内、农电）		

四、为何要确定额定电压?

- 标准化：避免电压等级数量的无限制扩大，导致互联困难。
- 最佳的技术经济性能：电力设备需要在额定电压下进行优化设计、制造和使用。
- 需要确定的额定电压：
  - 线路（即：电网、用电设备）
  - 发电机
  - 变压器(升压、降压)的一次/二次侧

五、如何确定额定电压?(电压分布:±5%)



升压变 1次侧 接线路?

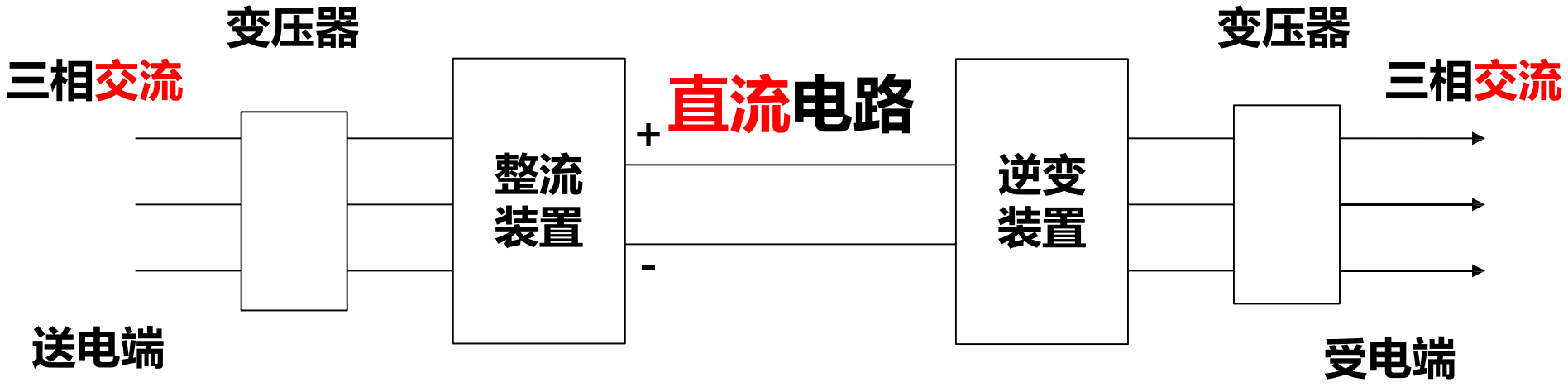
如何确定额定电压？（原则）

- 线路（电网）额定电压 = 用电设备额定电压
- 发电机额定电压 = 1.05 线路额定电压
- 升压变压器额定电压：
  - 一次侧 = 发电机额定电压(与发电机相联：**1.05**)
    = 线路额定电压(与线路相联)
  - 二次侧 = 1.10线路额定电压
- 降压变压器额定电压：
  - **一次侧 = 线路额定电压**
  - 二次侧 = 1.05(或1.10) 线路额定电压

如何确定额定电压？（算例）

用电设备（线路、电网)(kV)	发电 机 (kV)	变压器(kV)	
		一次	二次
6	6.3	6及6.3	6.3及6.6
10	10.5	10及10.5	10.5及11
35		35	38.5
110		110	121
220		220	242
330		330	363
500		500	550
750		750	825

六、高压直流输电（HVDC）简介



高压直流输电示意图

直流输电的优点?

- 适用于大系统互联：两端交流系统无需同步运行，无需同频率，本身不存在稳定问题。
- 直流线路造价低：费用相同时，架空线输电容量DC:AC=3:2,电缆比例更高。
- 能量损耗小。
- 控制快速简便。

直流输电的缺点?

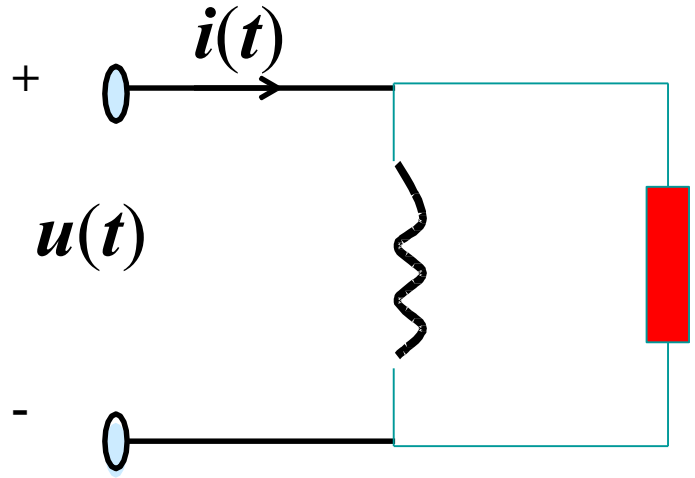
- 换流站造价高：AC与DC的等价距离，架空线 大约500km，地下或海底电缆大约50km。
- 换流产生谐波，恶化电能质量，干扰通信系 统，需要滤波。
- 电流没有过零点，熄弧困难，HVDC断路器研制困难。

第一章 绪论

§1 电能与系统
§2 发电厂：电能生产
§3 电力网：电能输送和分配
§4 交流电路的功率和复功率
§5 电力系统负荷：电能使用和消耗

一、电力系统为何用功率?

- 能量系统，基于能量的分析方法
- 发电/负荷均以功率和能量为单位，算钱
- 复功率是电力系统中最重要的概念之一

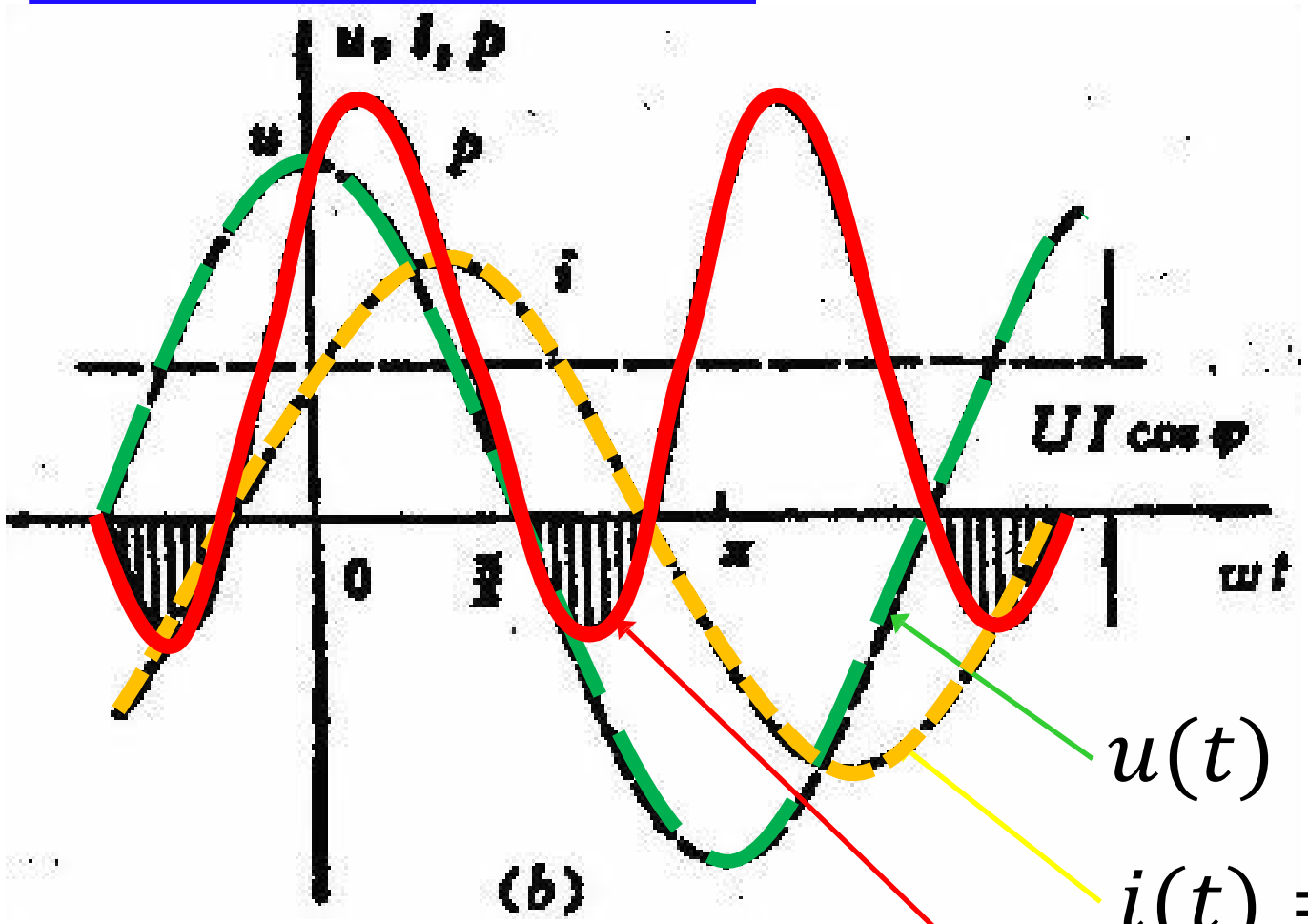


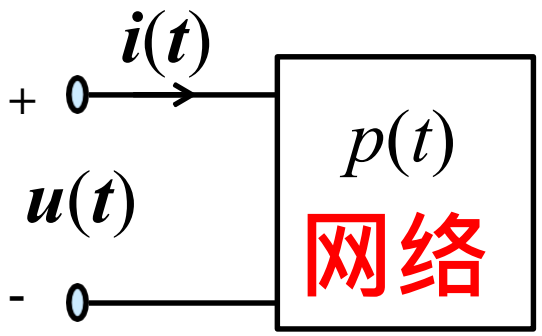
交流电路

从能量观点，我们观察了什么物理现象?

如果我们是前辈们,会引入何物理量来描述之?

二、单相瞬时功率



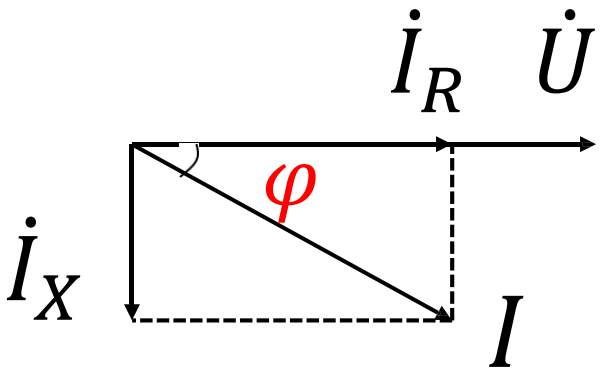


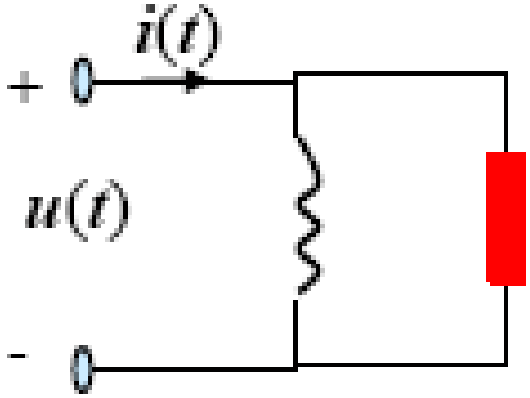
$$u(t) = \sqrt{2}U\cos\omega t$$

$$i(t) = \sqrt{2}U\cos(\omega t - \varphi)$$

$$p(t) = u(t)i(t)$$

分析功率组成：定义电流的有功、无功分量





$$i(t) \triangleq i_R(t) + i_x(t)$$

$$i(t) = \sqrt{2}U\cos(\omega t - \varphi)$$

有功分量 $i_R(t) = \underbrace{\sqrt{2}I\cos\varphi}_{\text{幅值}}\cos\underbrace{\omega t}_{\text{角度}}$

无功分量 $i_X(t) = \underbrace{\sqrt{2}I\sin\varphi}_{\text{幅值}}\cos(\underbrace{\omega t - 90^0}_{\text{角度}})$

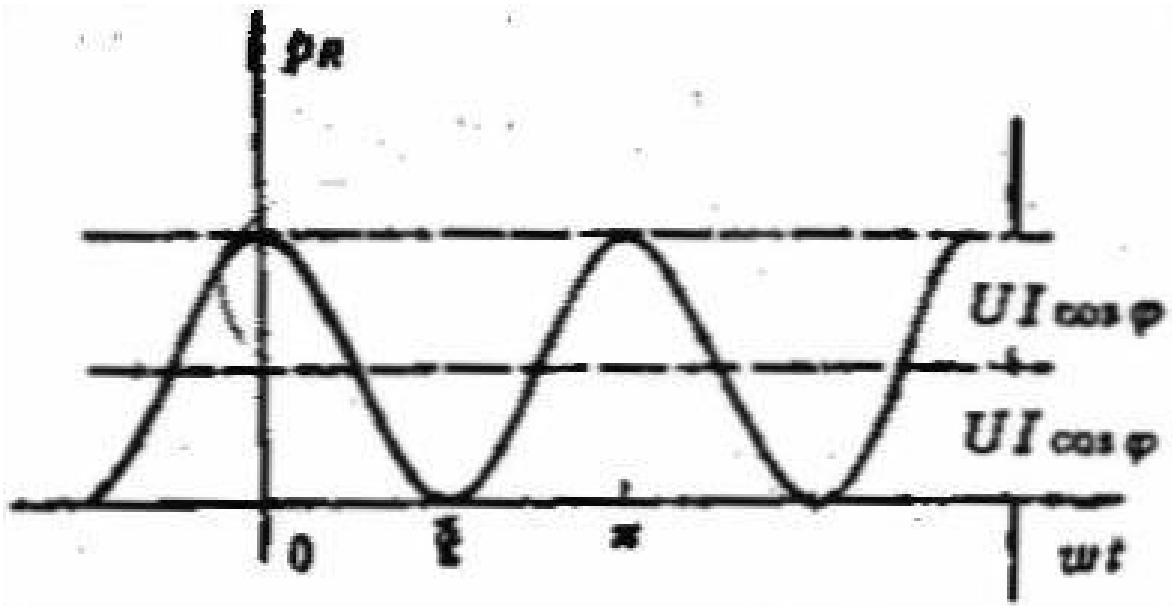
分解功率: 1、有功分量

$$\begin{cases} u(t) = \sqrt{2}U\cos\omega t \\ i_R(t) = \sqrt{2}I\cos\varphi\cos\omega t \end{cases}$$

$$p(t) = u(t)[i_R(t) + i_X(t)] \triangleq p_R(t) + p_X(t)$$

有功分量: $p_R(t) = UIcos\varphi(1 + cos2\omega t)$

$p_R(t)$由$i_R(t)$与$i_R(t)$产生的瞬时功率，周期$2\omega t$，始终≥0，均值$UIcos\varphi$，是无源网络中等效电阻的耗能速率（物理意义）

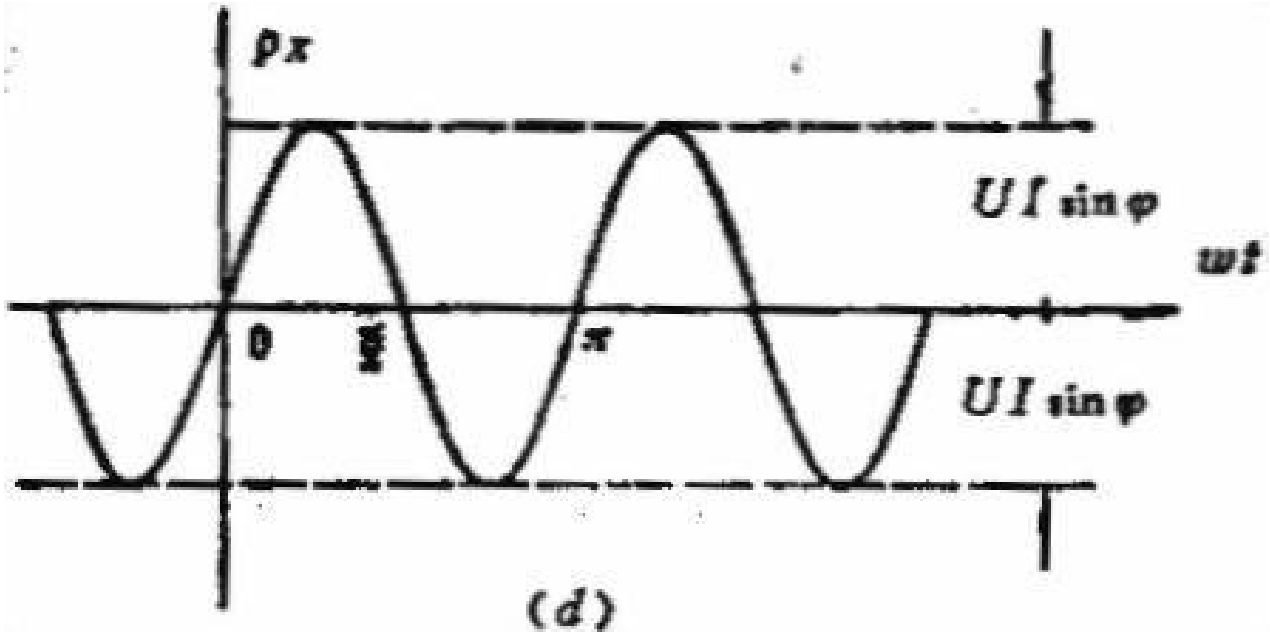


2、无功分量

$$\begin{cases} u(t) = \sqrt{2}U\cos\omega t \\ i_X(t) = \sqrt{2}I\sin\varphi(\cos\omega t - 90^o) \end{cases}$$

无功分量：$p_X(t) = UI\sin\varphi\sin 2\omega t$

$p_X(t)$由$u(t)$与$i_X(t)$产生的瞬时功率，周期$2\omega t$，均值 = 0，峰值$UI\sin\varphi$，是无源网络中等效电抗与外电源的电能量交换速率（物理意义）



请考虑纯电阻、纯电抗、纯电容网络的功率？

三、单相有功和无功功率

（定义**物理量**来描述对应的**物理现象**）

- 有功功率P 定义为$p_R(t)$的均值(特征值)

$$P = UI\cos\varphi$$

- 无功功率Q 定义为$p_X(t)$的峰值(特征值)：

$$Q = UI\sin\varphi$$

- P 物理意义：无源网络消耗的功率均值。
- Q 物理意义：无源网与外界交换能量能力的大小，交换功率峰值，均值为零，实际未消耗，描述无源网电感和电容存储和释放场能现象。

如何进一步理解Q？电网需要Q吗？

- 网络若是电感性的，则Q ＞ 0，习惯上认为网络“吸收”感性无功，是“无功负荷”。
- 网络若是电容性的，则Q ＜ 0，习惯上认为网络“发出”感性无功，是“无功电源”。
- （“吸收”感性（或容性）无功功率相当于“发出”容性（或感性）无功功率）

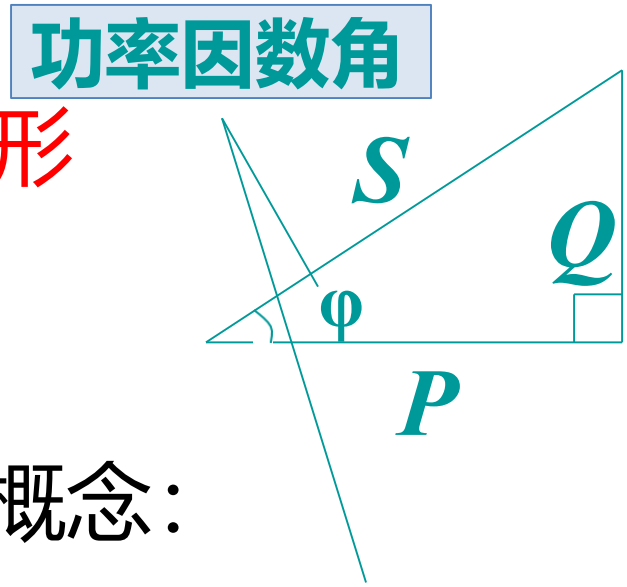
四、如何引入复功率?

- 视在功率S 定义为$u(t)$与$i(t)$ 有效值之积:

$$S = UI$$

- 带来数学上的方便：功率三角形

$$S^2 = P^2 + Q^2$$



- 由功率三角形，可引入复功率概念:

$$\dot{S} = \dot{U}I^* = UI\angle\delta_u - \delta_i = UI\angle\varphi$$
$$= UI\cos\varphi + jUI\sin\varphi$$
$$= P + jQ$$

引入复功率的好处?

- 物理意义明确：功率三角形关系的复数形式
  - 实部是有功功率P
  - 虚部是无功功率Q
  - 幅角是功率因数角φ
  - 模是视在功率S
- 计算方便：在电路计算中，复功率可以相加，而视在功率S不能直接相加。

五、平衡三相功率

- 定义: $p(t) = u_a(t)i_a(t) + u_b(t)i_b(t) + u_c(t)i_c(t)$

$$= P + 3P_P + 3U_P I_P \cos\varphi = C$$ (理解？)

- 为表示方便，定义三相无功:

$$Q = 3Q_P = 3U_P I_P \sin\varphi$$ （事实？）

- 定义三相视在功率:

$$S = 3S_P = 3U_P I_P$$

- 用线电压和线电流表示，对Y和Δ接法，均有:

$$\begin{cases} P = \sqrt{3}U_L I_L \cos\varphi \\ Q = \sqrt{3}U_L I_L \sin\varphi \\ S = \sqrt{3}U_L I_L \end{cases}$$

(φ仍是相电压和相电流夹角)

六、平衡三相复功率

- S、P、Q间仍组成功率三角形，因此引入：

$$\dot{S} = 3\dot{U}_P I_P^*$$

- 用线电压和线电流表示，对Y和Δ接法，均有

$$\dot{S} = \sqrt{3}\dot{U}_L I_L^* e^{\boxed{-j30^0}} \ ?$$

$$= \sqrt{3}U_L I_L \angle \delta_{uL} - \delta_{iL} - 30^0$$

$$= \sqrt{3}U_L I_L \angle \varphi$$ **(φ仍是每相的功率因数角)**

$$= \sqrt{3}U_L I_L cos\varphi + j\sqrt{3}U_L I_L sin\varphi$$

$$= P + jQ$$

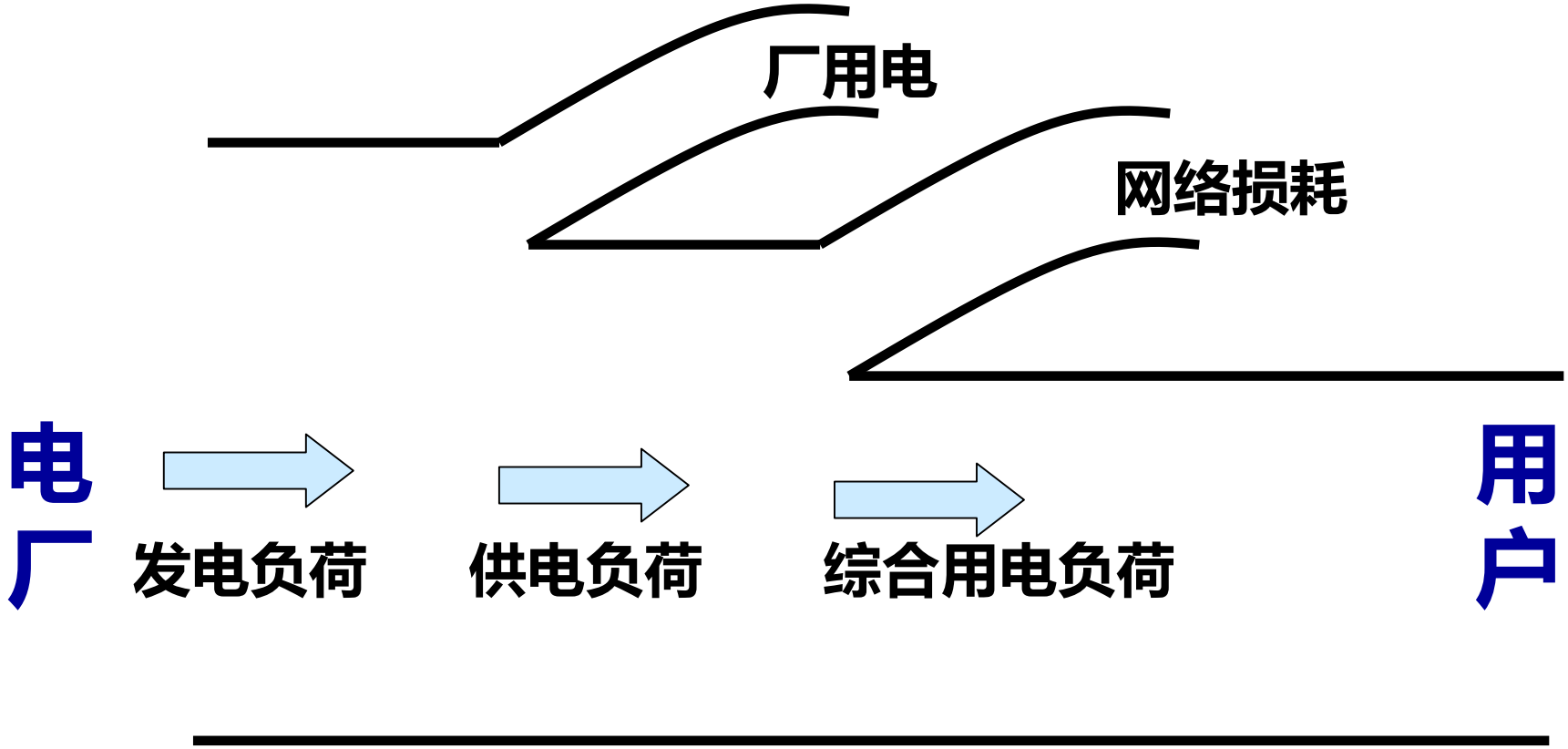
第一章 绪论

§1 电能与系统
§2 发电厂：电能生产
§3 电力网：电能输送和分配
§4 交流电路的功率和复功率
§5 电力系统负荷：电能使用和消耗

一、什么是电力系统负荷?

- 电力系统负荷是电力用户所需电功率总和，也称电力系统综合用电负荷。
- 可能包括工农业、交通运输和人民生活等各方面的各种用电设备。
- 主要有电动机（同步和异步）、电炉、电 热、照明、整流设备等，在不同行业中比重不同，最大量的是异步电动机。
- 这里研究的电力系统负荷是指高压输电系统负荷，如：一个乡镇或者大工厂的总负 荷，配电网络是负荷的一部分。

二、电力系统负荷间的关系图



三、负荷损耗

- 厂用电：维持发电厂运行自身所需的功率
  - 火电厂　5~8%
  - 水电厂　0.1~1%
  - 核电厂　4~5%
- 网络损耗(网损)：电能传输、分配中消耗的功率，约为：(5~10%)负荷。

四、什么是负荷曲线？如何分类？

- 描述负荷变化趋势的数学手段：指一段时间内负 荷随时间变化的曲线，可用来预测负荷趋势。
- 按负荷类型分：
  - 有功
  - 无功
- 按时间分：
  - 日
  - (周、旬、月、年)

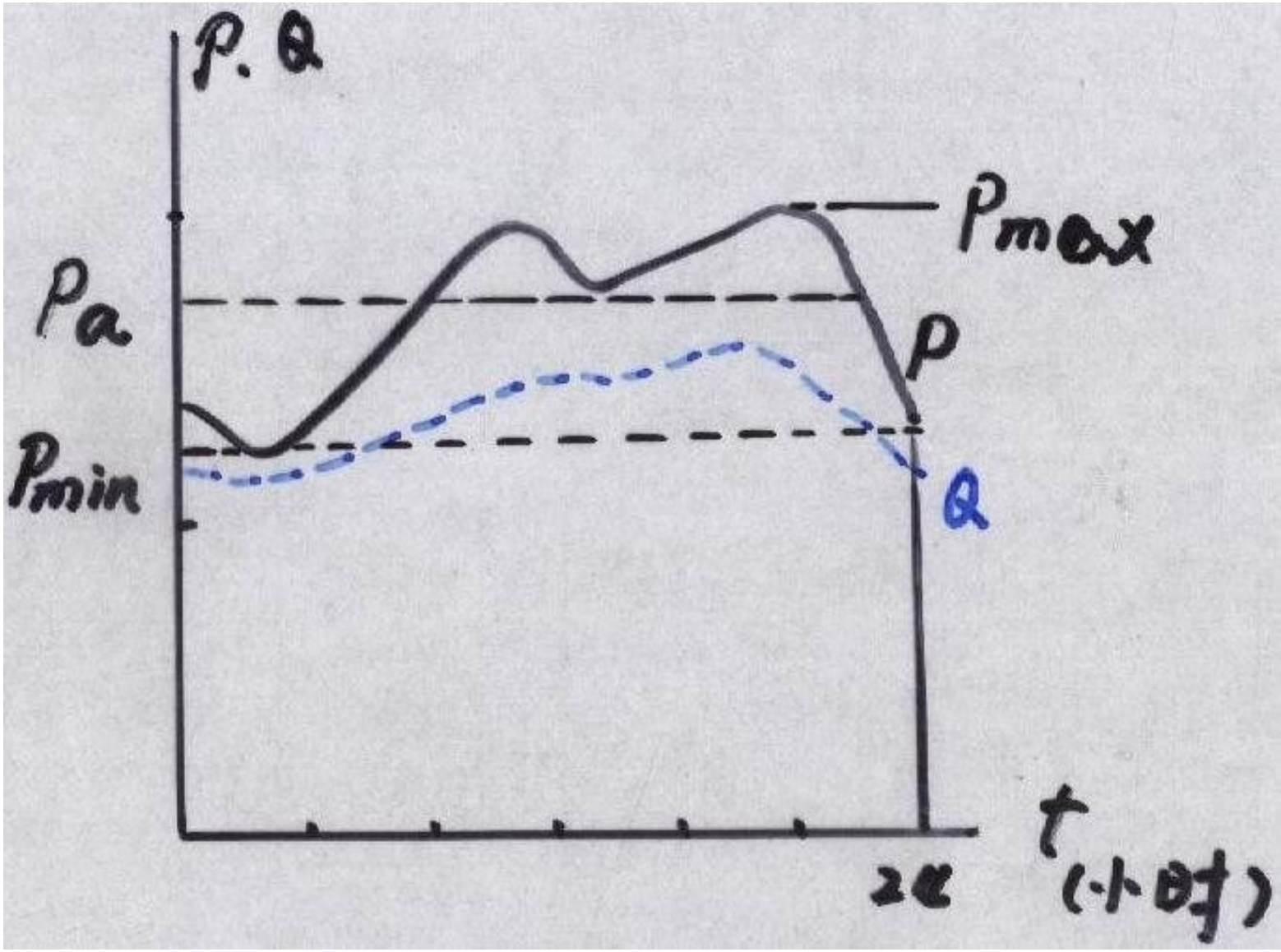
如何分类?

- 按对象分：
  - 发电厂
  - 变电所
  - 线路
  - 用户

五、日负荷曲线

- 24小时内负荷随时间的变化，随季节/地区不同而变
- 用途：
  - 制定日调度计划
  - 计算日耗电量 $A = \int_0^{24} P_d dt$（千瓦时）（度）
- 特征量：
  - 日峰荷P_{max}、日谷荷P_{min}、日均荷P_a、峰谷差
  - 基本负荷(谷)、中间负荷(腰)、高峰负荷(峰)
  - 运行难易不同，随地区、季节不同而变（例）

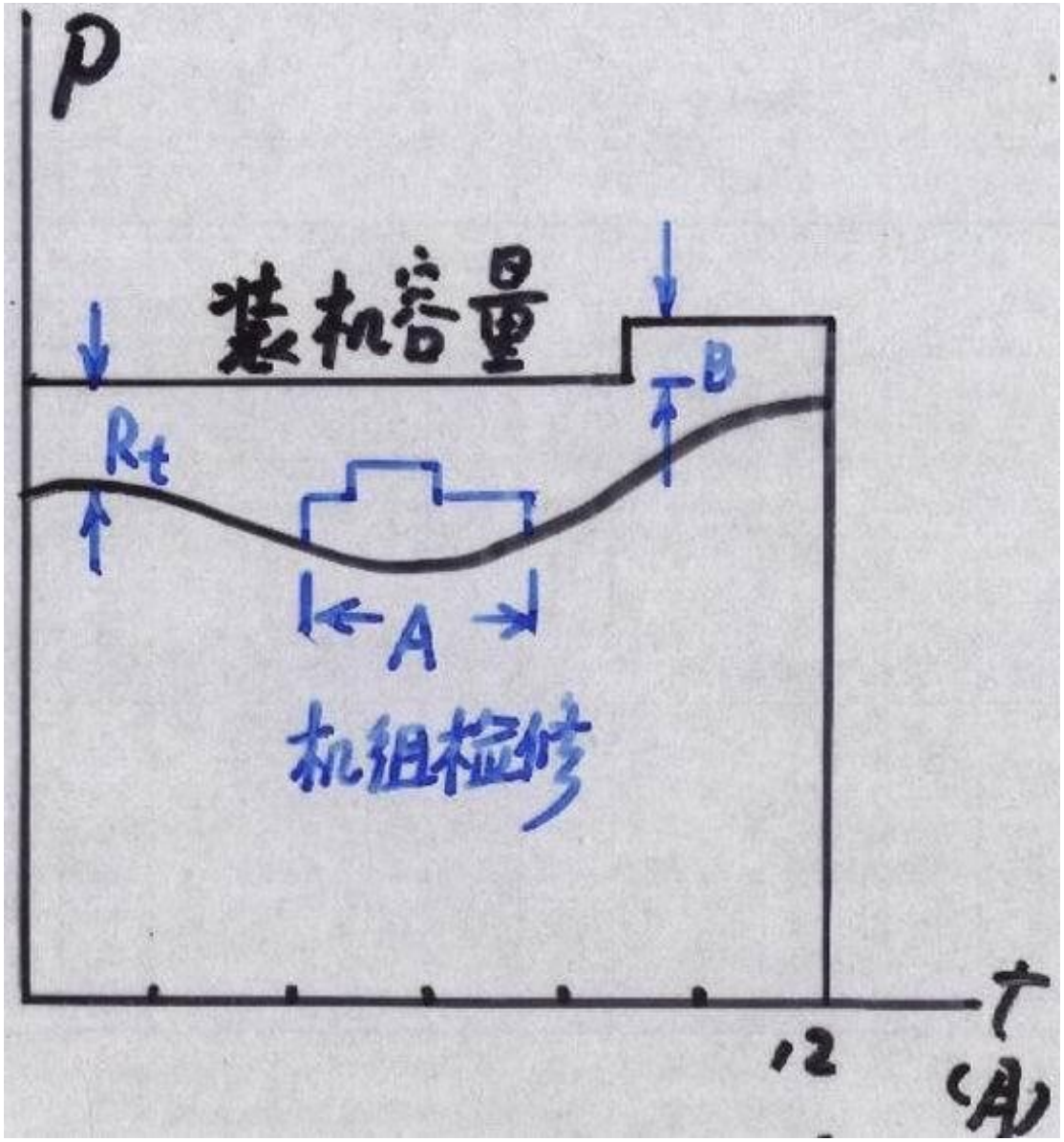
日负荷曲线图例



六、年最大负荷曲线

- 反映一年内逐月（或逐日）电力系统最大负荷的变化
- 用途：
  - 安排全年机组检修
  - 扩建或新建发电厂
- 备用：负荷备用、事故备用、检修备用、国民 经济备用等
- 不同地区曲线特点不同

年最大负荷曲线图例



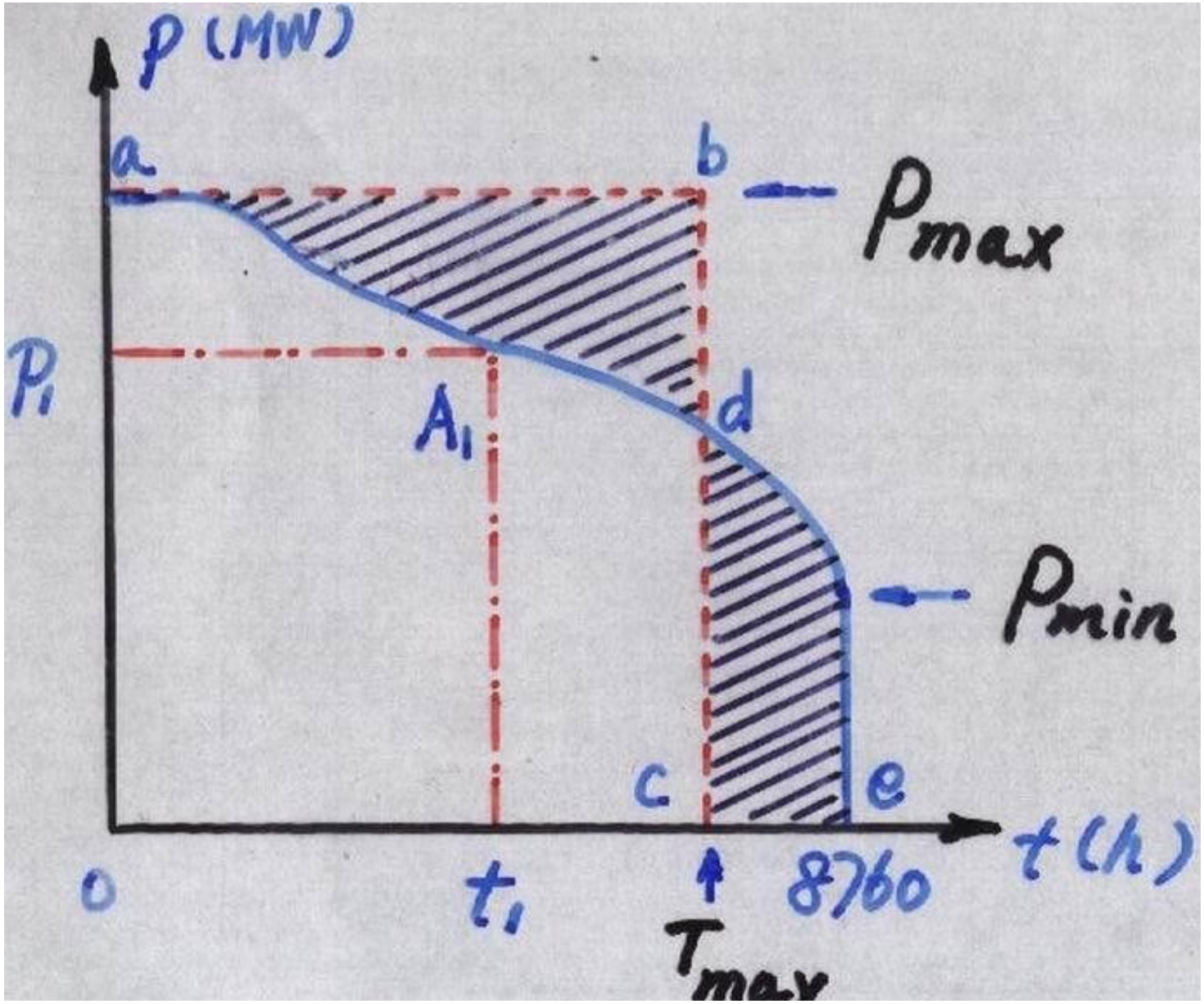
七、年持续负荷曲线

- 电力系统全年负荷按大小及累计持续运行时间（小时数）的顺序排列而作的曲线
- 用途：编制发电计划、计算可靠性、系统规划
- 算出全年所耗电能：$\sum A = \int_0^{8760} P_y dt$
- 年最大负荷利用小时数：全年所耗电能，若按最大功率使用所能持续的时间：

$$T_{\max} = \frac{\sum A}{P_{\max}} = \frac{\int_0^{8760} P_y dt}{P_{\max}}$$

- 我国T_{max}约5000小时，发达国家要小一些。

年持续负荷曲线图例



八、什么是负荷预测?

- 负荷预测：利用已知的历史负荷、气象信息等，结合人工经验，预测未来的负荷变化。
- 重要性：可类比产品市场预测，电能不能大量 存储，对预测精度要求高。
- 难度（类比天气或股市预测）：有工农业生产 状况、地理位置、气候气象条件、节假日、作 息制度及人民生活习惯等诸多因素的影响。
- 尚未完全解决。