

电气设备在线 智能化监测

米彦

miyan@cqu.edu.cn

65111172-8304

2008年9月

◆课程教材:

- 王昌长、李福祺、高胜友 编著: 《电力设备的在线监测与故障诊断》, 清华大学出版社, 2006

◆参考教材:

- 朱德恒、谈克雄 主编: 《电绝缘诊断技术》, 中国电力出版社, 1999
- 严 璋 编: 《电气绝缘在线检测技术》, 中国电力出版社, 1995



此次冰灾对电网的危害

◆ 国家电网公司

- 高压线路：杆塔17.2万基倒塌、1.2万基受损，断线12.9万处；
- 低压线路：倒断杆51.9万基，受损15.3万公里；
- 各电压等级线路停运15.3万条，变电站停运884座；
- 直接经济损失高达104.5亿元。

◆ 南方电网公司

- 110kV及以上输电线路倒杆倒塔及损坏2239基，断线2324处；
- 7502条线路停运，856个变电站停运。

◆ 冰灾1月10日开始，全国电网3月10日方才全面恢复正常运行！

怎样预防电气设备故障？

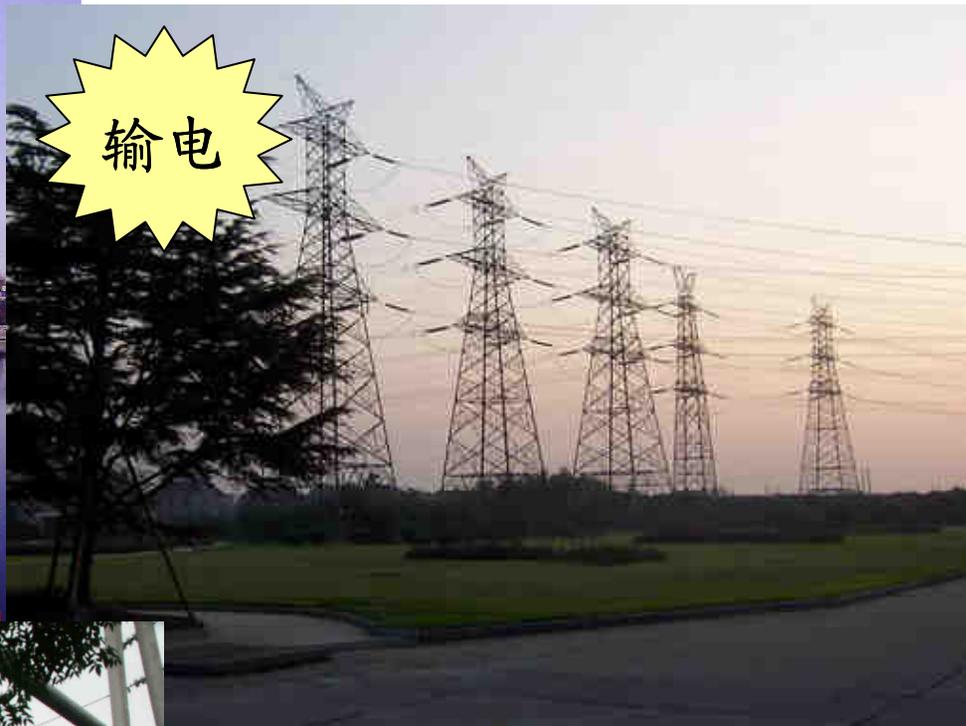
第一章 绪论

1. 本课程的研究对象
2. 电气设备的绝缘故障及其危害性
3. 电气设备维修机制的发展和状态维修的必要性
4. 在线监测技术的国内外研究现状及发展趋势
5. 本课程的学习内容
6. 本课程的学习方法

发电



输电



配电



用电



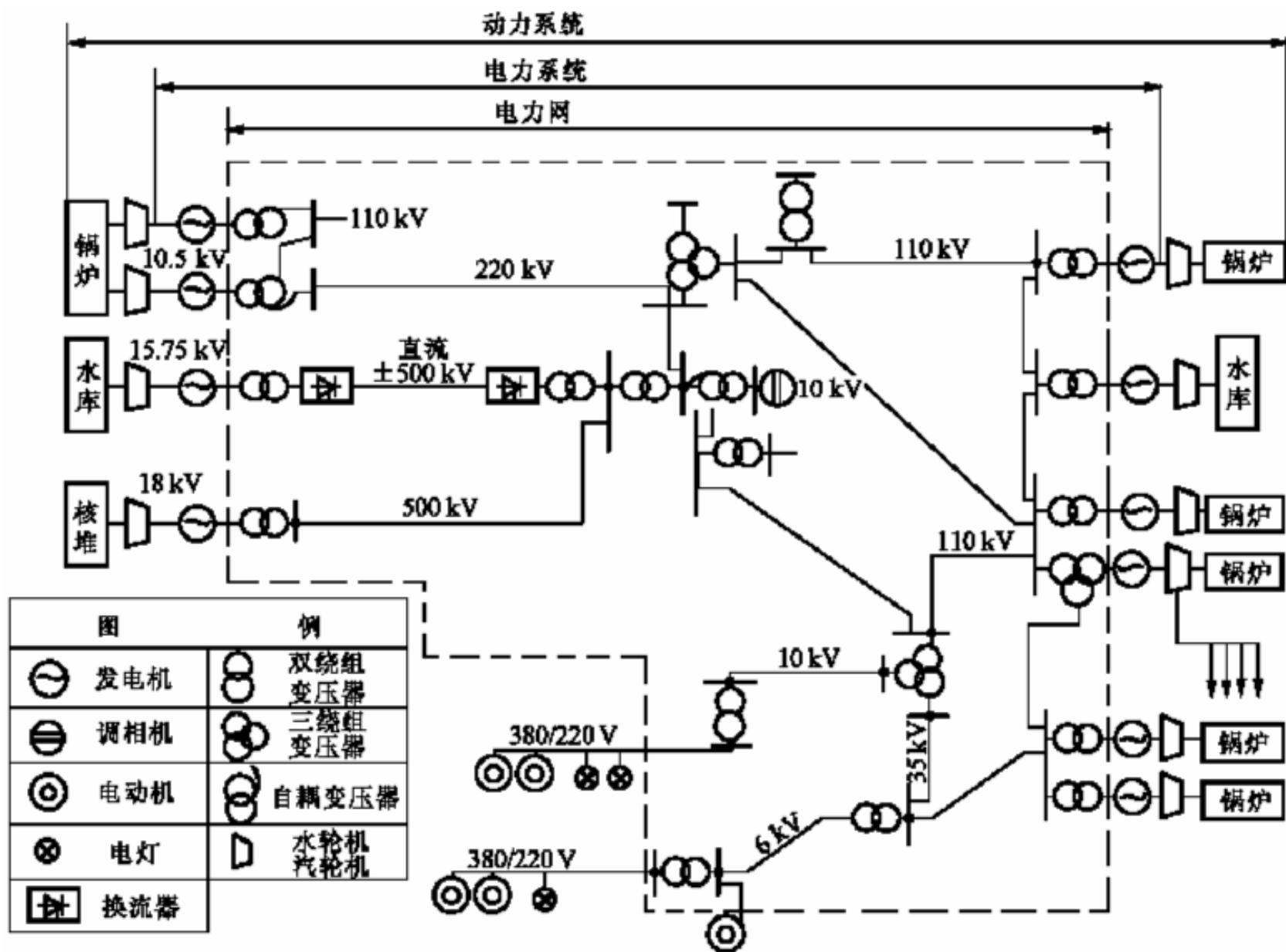


图 1-1 动力系统、电力系统、电力网示意图



汽轮发电机



绝缘子



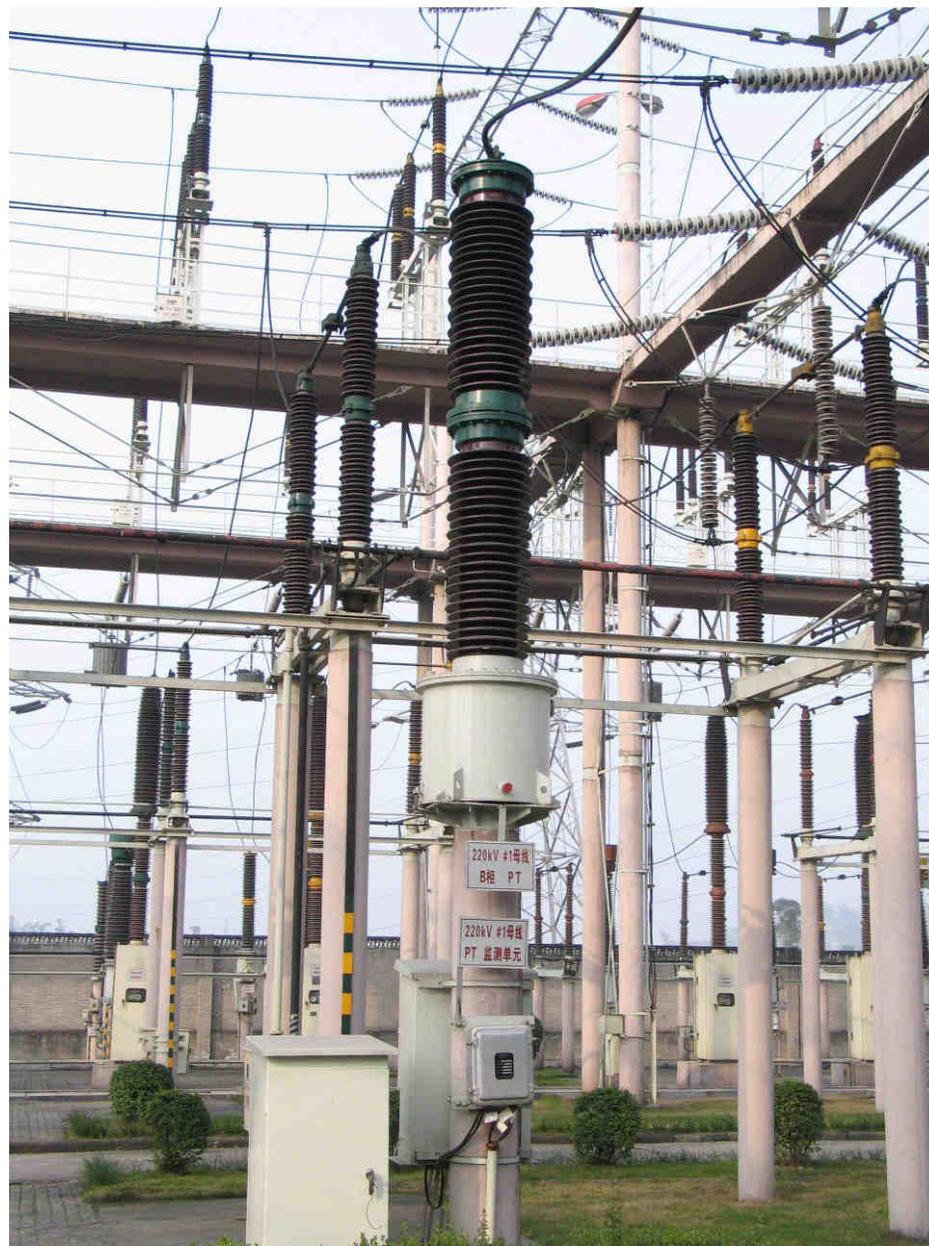
720MVA/500kV三相电力变压器



110kV 少油断路器



220kV SF₆ 断路器



220kV 电压互感器



220kV 电流互感器



220kV 耦合电容器、电容式电压互感器



220kV ZnO避雷器

1、本课程的研究对象

电力系统电气设备的绝缘状况

2、电气设备的绝缘故障及其危害性

- ◆ 电气设备是电力系统的基本元件，其性能的好坏直接影响到系统的安全可靠运行。
- ◆ 高压电气设备主要由两类不同材料构成：
 - 一类为**金属材料**，包括铜、铝等导电材料，硅钢片等导磁材料，铸铁、钢板等外壳或结构材料；
 - 另一类为**绝缘材料**，如绝缘纸(及纸筒、纸板)、绝缘油、塑料薄膜、层压板(及筒)、电瓷等。
- ◆ 相对于金属材料而言，绝缘材料更容易损坏，很容易老化变质而使机电强度显著降低。因而**绝缘材料机电性能的好坏往往成为决定整个电气设备寿命的关键所在。**

2、电气设备的绝缘故障及其危害性

七、八十年代我国电力系统部分电气设备故障统计

年份	设备	绝缘劣化 占总事故台次比例
1984~1986	110kV及以上变压器	68%
1990年	110kV及以上变压器	76%
1971~1974	6kV及以上电机	66%
1980年	36台故障电流互感器	92%
1990年	110kV及以上电流互感器	55%
1987年以前 (湖北省)	22台电压互感器	86%
	45台电流互感器	69%
	45只套管	64%

2、电气设备的绝缘故障及其危害性

◆ 电力系统电气设备的多数故障是绝缘性故障

➤ 我国；

➤ 国外：

● 美国某地区4.8kV配电系统对1980-1989年间失效电容器的统计分析指出，其中92%是因绝缘劣化引起失效；

● 日本日新公司对故障变压器统计结果是绝缘故障占45%。

◆ 引起绝缘故障的原因

➤ 电应力；

➤ 机械力；

➤ 热；

➤ 电场。

2、电气设备的绝缘故障及其危害性



变压器的灾难性事故

2、电气设备的绝缘故障及其危害性

◆绝缘故障造成的经济损失巨大

- 直接损失（设备损失、电量损失）；
- 间接损失；
- 社会损失。
 - 举例：一台三相500kV/360MVA的大型变压器，若发生爆炸，直接损失上千万元。若将直接损失、间接损失和社会损失的比例按1:4:6来估算的话，将给整个社会造成上亿元的巨大经济损失。

◆目前采取的措施

- 绝缘监督专职工程师；
- 春查。

3、电气设备维修机制的发展和 状态维修的必要性



◆事故后维修——20世纪50年代以前采用

◆定期维修——20世纪60、70年代沿用至今

➤方法:

●预防性试验一般在每年春查时进行，将预试结果与《电气设备预防性试验规程》的标准进行比较，若有超标，即要安排维修和停电计划。

→预防性维修

3、电气设备维修机制的发展和 状态维修的必要性

➤我国现行绝缘预防性试验项目的主要内容：

是否试验 试验项目	设备名称					
	电力变压器	电力电缆	高压套管	断路器		发电机
				充 SF ₆	充 油	
1.测量绝缘电阻 R_i	√	√	√	√	√	√
2.测量直流泄漏电流 I_1	√	√	—	√	√	√
3.直流耐压试验	—	√	—	—	—	√
4.测量介质损耗角正切值 $\text{tg}\delta$	√	√	√	○	√	○
5.绝缘油试验	√	√	●	—	√	√
6.微量水分测定	◎	—	●	√	—	—
7.油中溶解气体色谱分析	◎	—	●	—	—	—
8.局部放电试验	—	—	●	—	—	—
9.交流耐压试验	○	—	○	○	√	○

注“√”进行；“—”不进行；“◎”仅电压高或容量大时进行；“●”必要时进行；“○”大修后进行。

3、电气设备维修机制的发展和 状态维修的必要性

➤我国现行绝缘预防性试验项目的主要内容：

- 测量绝缘电阻 R_i 或直流泄漏电流 I_l 判断绝缘是否总体受潮或严重损坏；
- 交流下测量介质损耗角正切值 $\text{tg}\delta$ ，测到的是真正反映交流下介质损耗大小的特征参数，与绝缘的几何尺寸无关；
- 通过对绝缘油进行物化分析和气相色谱分析判断油浸电力设备的绝缘状况；
- 局部放电试验可以反映电气设备突发性故障；
- 破坏性试验项目，如交流耐压试验可能引起残余破坏，仅仅在大修后等情况下才进行。



220kV主变压器大修

3、电气设备维修机制的发展和 状态维修的必要性

➤ 局限性

● 经济角度分析：

- ✓ 定期试验和大修均需停电，引起电量损失；
- ✓ 定期大修和更换部件的投资，造成巨大的人、财、物的浪费。

● 技术角度分析：

- ✓ 试验条件不同于运行条件，多数项目是在低电压下进行检查，很可能发现不了绝缘缺陷和潜在的故障；
- ✓ 绝缘的劣化、缺陷的发展有一定的潜伏和发展时间，而预试是定期进行的，常不能及时准确地发现故障，从而出现漏报、误报或早报。

3、电气设备维修机制的发展和 状态维修的必要性

◆状态维修——20世纪70年代提出

➤方法：

- 对运行中的电气设备的绝缘状况进行连续的在线监测，随时测得能反映设备绝缘状况变化的信息，对这些信息进行分析处理后对设备的绝缘状况作出诊断，根据诊断结果安排必要的维修。→**预知性维修**

➤步骤：在线监测→分析诊断→状态维修

3、电气设备维修机制的发展和 状态维修的必要性

➤ 优点:

- 降低设备事故率，提高系统安全可靠运行水平；
- 提高设备利用率；
- 减少了维修次数、停电次数和维修费用；
- 投资省，收益高。

4、在线监测技术的国内外研究现状和发展趋势

◆提出

➤ 1951年，美国西屋公司的约翰逊（John S. Johnson）

◆美国——最先开展（20世纪60年代）

➤ 60年代初，使用可燃性气体总量（TCG）判断变压器的绝缘状态。

◆加拿大

➤ 1975年研制成功变压器早期故障监测器（油中溶解气体监测），主要是单一氢气；

➤ 80年代研制的发电机局部放电分析仪（PDA）成功应用于现场水轮发电机；

➤ 魁北克水电局（IREQ）研制成功多参数在线监测系统（AIM），可对变压器局放、油中溶解气体组分及线路过电压进行监测。

4、在线监测技术的国内外研究现状及发展趋势

◆前苏联

- 发展于70年代；
- 研究领域：电容性设备绝缘监测、局部放电在线监测。

◆日本

- 起步并发展于70年代；
- 70年代末以来研制了油中氢气的监测装置、三组分和六组分的油中气体监测装置；
- 东京电力公司于80年代研制了变压器局放自动监测仪。

4、在线监测技术的国内外研究现状和发展趋势

◆我国

- 开始于80年代，安徽、广东等省市电力部门研制了电容性设备监测装置，但效果不理想；
- 90年代，重庆大学、武汉高压研究所、湖北省中试所、武汉水利电力大学等单位的研究水平日趋完善，逐渐得到了电力部门的认可；
- 2002年，重庆大学开展的“变电站电气设备绝缘多参量多功能在线监测及故障诊断技术研究”荣获**国家科技进步二等奖**；
- 目前较成熟的技术有：电容性设备监测、油中六种气体监测、发电机局放监测、主变压器局放监测及相应的诊断技术。

4、在线监测技术的国内外研究现状及发展趋势

◆发展趋势

- 多功能多参数的综合监测和诊断系统

4、在线监测技术的国内外研究现状和发展趋势

◆在线监测系统的技术要求

- 系统的投入和使用不应改变和影响电气设备的正常运行；
- 系统应能自动地连续进行监测、数据处理和存储；
- 系统应具有自检和报警功能；
- 系统应具有较好的抗干扰能力和合理的监测灵敏度；
- 监测结果应具有较好的可靠性和重复性以及合理的准确度；
- 系统应具有在线标定其监测灵敏度的功能；
- 系统应具有故障诊断功能。

5、本课程的学习内容

◆在线监测系统的组成和各组成部分的作用

- 在线监测系统的分类
- 在线监测系统的组成

◆几种主要传感器的原理

- 温度传感器、红外传感器、振动传感器、电流传感器、电压传感器、气体传感器

◆几种主要故障诊断方法

- 阈值诊断、模糊诊断、时域波形诊断、频域特性诊断、指纹诊断、基于人工神经网络的诊断、专家系统在故障诊断中的应用

5、本课程的学习内容

◆ 电气设备在线监测技术的典型应用

- 电容型设备的在线监测
- 金属氧化物避雷器的在线监测
- 变压器油中溶解气体的监测与诊断技术
- 变压器局部放电的在线监测
- **GIS**局部放电的在线监测
- 输电线路在线监测

6、本课程的学习方法

◆先修课程：

- 《高电压技术》、《电路原理》、《电子技术》

◆连接强电与弱电的桥梁，学科交叉性强；

◆专业性、实用性强，要注意理论联系实际；

◆属于学科前瞻性领域，研究技术日新月异，要多关注最新研究动态。