

# 电力设备设计原理

## 教材详细目录

### 1 第1章电力设备设计概论 1 (页码, 下同)

- 1.1 电力系统常见的电力设备 1
  - 1.1.1 发电设备
  - 1.1.2 输电设备
  - 1.1.3 变电设备
  - 1.1.4 保护设备
  - 1.1.5 用电设备
- 1.2 电力设备在试验和运行中所承受的作用 7
  - 1.2.1 电力设备运行环境
  - 1.2.2 电力设备在运行中承受的电压作用
    - 工作电压
    - 过电压
  - 1.2.3 电力设备的绝缘试验
    - 绝缘特性试验
    - 耐压试验
- 1.3 电力设备设计的原则 14
  - 1.3.1 电力设备绝缘结构设计原则
  - 1.3.2 绝缘结构设计中的材料选择原则
  - 1.3.3 绝缘的耐热性和热老化
  - 1.3.4 绝缘材料的热老化
    - 绝缘耐热性的意义
    - 绝缘耐热性的分级
    - 绝缘材料的寿命和温度的关系
    - 绝缘材料的热老化
- 1.4 可靠性分析与试验考核 19
  - 1.4.1 可靠性与可靠度
    - 可靠性的基本概念
    - 可靠度与可靠度函数
    - 故障率曲线
    - 平均寿命与可靠寿命
  - 1.4.2 可靠性试验
    - 可靠性试验种类
    - 常用的寿命分布
    - 可靠性筛选试验
    - 加速老化试验
  - 1.4.3 电力设备可靠性预测原则与方法
    - 电力设备可靠性预测原则
    - 电力设备可靠性预测方法
  - 1.4.4 电机绝缘材料与系统的评估标准
    - 绝缘材料和系统的热耐受评估
    - 绝缘材料和系统的耐电评估

## 2 第2章电磁场设计原理 31

- 2.1 电磁场基本方程 31
- 2.2 材料基本电磁特性 34
  - 2.2.1 介电常数及其随温度的变化规律
  - 2.2.2 磁导率及其随温度的变化规律
  - 2.2.3 电导率及其随温度的变化规律
    - 低场下
    - 高场下
  - 2.2.4 绝缘介质的体击穿和沿面闪络过程
- 2.3 电力设备中典型结构的电场及磁场分析 52
  - 2.3.1 平板结构的电磁场计算
  - 2.3.2 同轴结构的电磁场计算
  - 2.3.3 磁路的计算及其设计
  - 2.3.4 极不均匀电场结构及其均匀化设计
    - 改变电极形状
    - 通过增设中间电极改善电极间电容分布
    - 通过加屏蔽环改善电极间电容分布
    - 通过不同（梯度）介质材料来改善电场分布
    - 通过电阻（半导体）来改善电场分布
    - 通过外施电压强制调整电场
- 2.4 本章摘要 75

## 3 第3章热场设计原理 77

- 3.1 传热的基本方程 77
  - 3.1.1 热量传递的基本方式
    - 热传导
    - 热对流
    - 热辐射
  - 3.1.2 传导微分方程
- 3.2 材料基本热学特性 83
  - 3.2.1 材料的热熔
    - 热熔的基本概念
    - 晶态固体热熔的经验定律和经典理论
    - 晶态固体热熔的量子理论
    - 常见材料的热熔
  - 3.2.2 材料的热膨胀
    - 热膨胀系数
    - 固体材料热膨胀机理
    - 热膨胀和其他性能关系
    - 影响热膨胀的材料因素
  - 3.2.3 材料的热传导
    - 固体材料热传导的宏观规律
    - 固体材料热传导的微观机理
    - 影响热导率的因素
  - 3.2.4 电磁发热与热平衡
- 3.3 热场分析与设计原理 98

- 3.3.1 传导换热计算
  - 通过单层平壁的传导
  - 通过多层平壁的传导
  - 通过圆筒壁的传导
  - 具有内热源的平板传导
  - 具有内热源的圆柱体传导
- 3.3.2 对流换热计算
  - 自然对流换热计算
  - 强迫对流换热计算
- 3.4 本章摘要 124
- 3.5 思考题 124

## 4 第4章应力场设计原理 125

- 4.1 应力场的基本原理 125
  - 4.1.1 工程力学的基本概念及公理
    - 力、力矩、与力偶
    - 外力、内力、和应力
    - 物体受力分析与受力图
  - 4.1.2 应力的基本形式
    - 剪力与弯矩
    - 扭转与扭矩
    - 轴向拉伸
- 4.2 材料的基本力学特性 138
  - 4.2.1 材料的变形
    - 构建的基本要求
    - 变形固体及基本假设
    - 构建变形的形式
  - 4.2.2 材料的抗变形性能
    - 应力状态
    - 强度理论
    - 硬度
    - 冲击韧性
    - 疲劳强度
  - 4.2.3 工程材料的力学性能及影响因素
    - 低碳钢的力学性能
    - 铸铁的力学性能
    - 高聚物绝缘材料的力学性能
    - 影响材料性能的因素
- 4.3 应力场分析与设计原理 159
  - 4.3.1 拉伸、压缩、剪切、扭转计算
  - 4.3.2 螺栓连接应力场的计算分析
  - 4.3.3 壳体应力与变形分析
  - 4.3.4 支撑构建疲劳强度的计算分析
  - 4.3.5 钢结构地震条件下应力分析
  - 4.3.6 电机转轴偏心故障的应力分析
- 4.4 本章摘要 182
- 4.5 思考题 185

## 5 第5章基本物理场的耦合 185

- 5.1 电力设备基本物理场的耦合分析原理 185
  - 5.1.1 电力设备材料性能
  - 5.1.2 基本物理场与多场耦合
  - 5.1.3 多场耦合分析的基本原理
    - 直接耦合法
    - 载荷传递法
- 5.2 电力设备的电热耦合分析 194
  - 5.2.1 电力设备发热与平衡
  - 5.2.2 电力设备电热的耦合分析
  - 5.2.3 典型结构的电热耦合解析分析
    - 绝缘结构刚刚投入运行, 在升温过程中
    - 变压器、开关所用的套管和穿墙套管, 在运行中发生短路, 温度急增
    - 电力电缆的载流量 (最高允许温度下, 允许通过的最大电流)
  - 5.2.4 典型结构的电磁热耦合数值仿真
    - 电-磁-热-流耦合计算的基本原理
    - $\pm 1100\text{kV}$  直流穿墙套管的三维电-磁-热耦合数值仿真
- 5.3 电力设备的热力耦合分析 214
  - 5.3.1 缺失
  - 5.3.2 典型结构的热力耦合解析计算
  - 5.3.3 典型结构的热力耦合数值仿真
- 5.4 电力设备的磁热耦合分析 221
- 5.5 电力设备的电磁耦合分析 226
  - 5.5.1 换流变压器电磁场耦合分析
    - 电-磁耦合分析基本原理
    - “场-路耦合法”基本原理
    - 换流变压器有限元模型建立
  - 5.5.2 绕组短路电磁力计算
    - 绕组短路电磁力计算原理
    - 绕组短路电磁力计算
    - 短路电磁力频谱分析
    - 绕组机械应力计算
    - 绕组稳定性校核
  - 5.5.3 换流变压器绕组轴向动态特性计算
    - 绕组轴向振动的力学与数学模型
    - 模态分析
    - 轴向动态力分析
- 5.6 本章小结 248

## 6 第6章电力设备实例 185

- 6.1 电机的电磁设计 185
  - 6.1.1 电机的基本结构
  - 6.1.2 磁路设计
    - 磁路的基本定律
    - 空气隙磁压降计算
    - 齿部磁压降计算

- 轭部磁压降计算
- 6.1.3 绕组设计
  - 电机绕组结构参数
  - 电机绕组绝缘设计要求
  - 高压电机定子绕组绝缘设计
- 6.2 电机的热学设计 202
  - 6.2.1 损耗热量
    - 铁心损耗
    - 电阻损耗
    - 附加损耗
    - 机械损耗
  - 6.2.2 热场和温升计算
    - 电机传热方式
    - 电机温升计算
- 6.3 高压套管机构设计 211
  - 6.3.1 高压套管基本结构
  - 6.3.2 交流电容式套管结构设计
    - 交流电容式套管结构
    - 电容式套管设计
    - 电容芯子的设计方法
  - 6.3.3 直流套管设计
    - 直流套管与交流套管特点对比
    - 直流套管的电容芯子设计
- 6.4 电机和高压套管的仿真设计应用 222
  - 6.4.1 电机热-流体耦合仿真设计应用
    - 电机的流体仿真计算方法
    - 电机的电-热-流体仿真耦合计算
  - 6.4.2 高压套管电容芯子仿真设计应用
- 6.5 本章摘要 230
- 6.6 思考题 231