

电力设备设计原理

目录

1	第一章	2
1.1	电力系统的组成与电力设备的分类方式 (P1)	2
1.2	电力设备在运行中承受的电压作用 (P10)	2
1.3	绝缘结构设计的目的和任务。(P14)	2
1.4	绝缘结构设计制造的过程。(P14)	2
2	第二章	3
2.1	电气设备设计的核心问题和内在实质 (P31)	3
2.2	线芯的直流电阻及有效电阻的公式及其含义。(P62)	4
2.3	改善电场分布的常用方法。(P70)	4
2.4	巴申曲线 (P50)	4
3	第三章	4
3.1	热传递的基本方式、公式及意义。(P77)	4
3.2	电力设备运行中的发热来源 (P96)	5
3.3	电力设备绝缘结构的两种基本热状态 (P98)	5
3.4	具有热源的圆柱体传导 (P116)	5
4	第四章	6
4.1	1.力对物体的作用效应取决于力的三要素	6
4.2	应力的基本形式	6
4.3	冲击韧度及疲劳强度的基本概念 (P146)	6
4.4	低碳钢的力学性能 (P149)	7
4.5	铸铁的力学性能	7

1 第一章

1.1 电力系统的组成与电力设备的分类方式 (P1)

电力系统是由发电厂、输变电网络、供配电所和用电设备等部分组成的电能生产与消费系统。

电力设备分类：

- (1) 功能：发电设备、变电设备、输电设备、用电设备和保护设备。
- (2) 作用：一次设备、二次设备。
- (3) 技术重要程度：核心设备和辅助设备。
- (4) 经济价值差异：大型贵重设备、普通设备。

1.2 电力设备在运行中承受的电压作用 (P10)

- (1) 工频工作电压
- (2) 暂时过电压
- (3) 操作过电压
- (4) 雷电过电压
 - 1) 直击雷电过电压
 - 2) 雷电感应过电压

1.3 绝缘结构设计的目的和任务。(P14)

绝缘结构设计的目的和任务是，根据产品技术条件和使用要求，确定结构的形式，选用合适的绝缘材料和绝缘工艺，从而使产品达到技术上的先进和经济上的合理。只有通过合理的结构设计、合理的选用材料和工艺，才能达到最大的效果。制造和运行时电气设备的两个方面，电气绝缘问题在制造和运行上均具有重要意义。

1.4 绝缘结构设计制造的过程。(P14)

- (1) 调查研究运行要求和制造可能，制定技术。
- (2) 选择材料和结构形式。
- (3) 设计计算和确定结构尺寸
- (4) 进行产品制造
- (5) 通过产品实验
- (6) 投入运行及考察其运行性能，对产品技术条件提出修正意见，为改进以后的设计和制造提供参考。

2 第二章

2.1 电气设备设计的核心问题和内在实质 (P31)

结构形式和材料选择是电力设备是电气设备设计的核心问题,而其内在实质则是研究电磁场在电气设备中分布、变化规律及其与电工材料的相互作用。

2.1.1 介质损耗角正切的含义。

复介电常数 $\varepsilon^*(T, f) = \varepsilon'(T, f) - j\varepsilon''(T, f)$, 实部代表介质的介电常数, 虚部代表介质损耗。实际中一般用介质损耗角来表征损耗的大小, 其定义 $\tan \sigma = \frac{P}{Q} = \frac{\varepsilon''}{\varepsilon'}$, 也即有功和无功功率之比。包含电导损耗和松弛损耗两部分。

2.1.2 平板或同轴圆柱电场计算。

1. 平板电容器

$$E = \frac{U}{d}, \quad C = \frac{\varepsilon_0 A}{d}$$

$$\nabla^2 \phi = -\frac{\rho}{\varepsilon_0}$$

$$\phi(x) = -\frac{\rho}{2\varepsilon_0}x^2 + \left(\frac{U}{d} + \frac{\rho}{2\varepsilon_0}d\right)x$$

$$E(x) = \left(\frac{\rho}{\varepsilon_0}x - \frac{U}{d} - \frac{\rho d}{2\varepsilon_0}\right)\vec{e}_x$$

电容器所储存的能量为 $W = \frac{1}{2}CU^2 = \frac{1}{2}\varepsilon_0\varepsilon_r E^2 V$

一方面可以通过提高电介质的介电常数, 一方面可以提高介质的击穿场强。

交流电压下, 一般用无功功率 Q 来表示电容器的容量

$$Q = U^2 \omega C = \omega \varepsilon E^2$$

极板单位面积上的力 $f = -\frac{1}{2}\vec{D} \cdot \vec{E}$

对于两种介质串联,

电位移矢量是连续的, $f_1 = \frac{D^2}{2\varepsilon_1}S, f_2 = \frac{D^2}{2\varepsilon_2}S$, 分界面所受的力为 $f_a = \frac{D^2}{2}\left(\frac{1}{\varepsilon_1} - \frac{1}{\varepsilon_2}\right)S$

$t=0$ 时, 电场按电容分布 $E_{10} = \frac{\varepsilon_2 U_0}{\varepsilon_2 d_1 + \varepsilon_1 d_2}, E_{20} = \frac{\varepsilon_1 U_0}{\varepsilon_2 d_1 + \varepsilon_1 d_2}$

稳态时, 电场按电阻分布 $E = \frac{\gamma_2 U_0}{\gamma_2 d_1 + \gamma_1 d_2}, E = \frac{\gamma_1 U_0}{\gamma_2 d_1 + \gamma_1 d_2}$

对于两种介质并联,

电场是连续的, $f_1 = \frac{\varepsilon_1 E^2}{2} S, f_2 = \frac{\varepsilon_2 E^2}{2} S$, 分界面所受的力为 $f_a = \frac{E^2}{2} (\varepsilon_1 - \varepsilon_2) S$

介电常数 $\varepsilon = a\varepsilon_1 + (1 - a)\varepsilon_2$

复合介质损耗角 $\tan \delta = \frac{C_1 \tan \delta_1 + C_2 \tan \delta_2}{C_1 + C_2}$

2.2 线芯的直流电阻及有效电阻的公式及其含义。(P62)

2.3 改善电场分布的常用方法。(P70)

1. 改变电极形状
2. 增设中间电极改变电极间电容分布
3. 通过加屏蔽环改变电极间电容分布
4. 通过不同（梯度）介质材料来改善电场分布。
5. 通过电阻（半导体）改善电场分布
6. 通过外施电压强制调整电场

2.4 巴申曲线 (P50)

自由电子在电场的加速作用下, 经过碰撞电离产生电子崩, 电子崩前为电子, 崩尾则由正离子组成。电子崩可以因正负电荷的复合而逐渐消失, 即不自持放电, 也可以通过二次电子的形成, 自持放电。

巴申通过实验总结出均匀电场中气体击穿电压 U_b 和 pd 成抛物线关系, 在某一 pd 值处 U_b 有最小值。在 p 较小时（空气稀薄）不能产生足够的碰撞次数, 产生足够多的电子数量, 而在 p 较大时, 电子能量积累困难, 不能产生碰撞电离。

3 第三章

3.1 热传递的基本方式、公式及意义。(P77)

3.1.1 热传递的基本方式

- 1) 热传导
- 2) 热对流
- 3) 热辐射

3.1.2 公式

1. 热传导

当物体内部存在温度梯度时, 能量就会通过热传导从温度高的区域传到温度低的区域。

$$q = -\lambda \frac{\partial t}{\partial x}, \quad q(W/m^2) = \frac{\varphi}{A}$$

λ 热导率又称传导系数, 在数值上等于温度梯度的绝对值为 1K/M 时的热流密度。

Φ 热流量

q 热流密度

2. 热对流

热对流是指当流体发生宏观移动时伴随流体质量迁移发生的热量传递。流体中一旦存在温度差也必定发生热传导。

$q = h(t_w - t_f)$, t_w 为壁面温度, t_f 为流体温度。

3. 热辐射

物体通过电磁波来传递能量的形式称为辐射。

黑体斯忒藩波尔兹曼 $\Phi = A\sigma T^4$

σ 为斯忒藩波尔兹曼常数 $5.67 \times 10^{-8} W/(m^2 \cdot K^4)$

实际物体斯忒藩波尔兹曼 $\Phi = \varepsilon A\sigma T^4$

ε 称为物体的发射率 (习惯上又称黑度), 值小于 1。

3.2 电力设备运行中的发热来源 (P96)

(1) 电流通过导体发热

(2) 介质损耗发热

(3) 由于电磁感应引起的涡流损耗、临近效应、铁磁损耗等的发热。

3.3 电力设备绝缘结构的两种基本热状态 (P98)

(1) 热稳定。当电力设备在运行中已有一定时间, 发热量和散热量已处于平衡状态, 温度保持在一定水平既不上升, 也不下降。

(2) 热暂态。当电力设备开始投入运行时, 温度将逐渐上升, 当电力设备切断电流时, 温度将逐渐降低。温度随时间变化, 这称为热暂态。

无论热稳态或热暂态, 电力设备在电压、电流和电磁作用下因发热引起的绝缘结构最高温升, 应不超过其耐热性能的最高允许工作温度。

3.4 具有热源的圆柱体传导 (P116)

4 第四章

4.1.1.力对物体的作用效应取决于力的三要素

大小、方向、作用点。

4.2 应力的基本形式

- (1) 拉伸
- (2) 压缩
- (3) 剪切
- (4) 挤压
- (5) 扭转
- (6) 弯曲

例 4-4。(P136)

$$\sigma_H = \frac{\frac{F}{B} \left(\frac{1}{\rho_1} \pm \frac{1}{\rho_2} \right)}{\sqrt{\pi \left(\frac{1 - \mu_1^2}{E_1} + \frac{1 - \mu_2^2}{E_2} \right)}}$$

$$\frac{1}{\rho_A} = \frac{1}{\rho_1} + \frac{1}{\rho_2} = \frac{13}{400}, \quad \frac{1}{\rho_B} = \frac{1}{\rho_1} - \frac{1}{\rho_2} = \frac{1}{50} - \frac{1}{80} = \frac{3}{400}$$

$$\sigma_{H \max a} : \sigma_{H \max b} = \sqrt{\frac{\frac{1}{\rho_a}}{\frac{1}{\rho_b}}} = \sqrt{\frac{13}{3}} = 1 : 0.48$$

所以图示最大内外接触应力之比为 1: 0.48.最大接触应力以两个圆柱体外接触为高, 最大内接触应力为低, 在某种情况下, 采用内接触有利于提高承载能力。

4.3 冲击韧度及疲劳强度的基本概念 (P146)

1. 冲击韧度:

冲击试验是用来测定材料对冲击载荷的抵抗能力, 用冲击韧度表示。测定实验是将带有缺口的材料标准试件放置在摆锤冲击试验机支座上, 摆锤从一定高度落下将试件冲断。由试验机可测出试件所吸收的能量 E, 将 E 除以试件凹槽处的横截面积, 所得的数值即为材料的冲击韧度, 以 α_k 表示, $\alpha_k = \frac{E}{A} (MJ/m^2)$, 越大表示抵抗冲击的能力越强。一般脆性材料的冲击韧度远比塑性材料低。

2. 疲劳强度:

随时间做周期性变化的应力称为交变应力, 构件在交变应力作用下发生的破坏成为疲劳破坏。如支撑原件在工作过程中受到负荷, 产生低于屈服强度的变应力, 经过一定次数的应力循环后突然断裂, 断

裂时没有明显的宏观塑形变形，这种失效形式称为疲劳破坏，其过程为产生初始裂纹，裂纹扩展，突然破坏

特点：

- 1) 金属所承受的交变应力最大值远小于其静载下的强度极限时，就可能发生破坏。
- 2) 即使是塑性材料，在破坏前也没有显著的塑形变形。
- 3) 金属疲劳破坏时，其断口呈现光滑区和粗糙区两个区域。

4.4 低碳钢的力学性能 (P149)

1. 低碳钢拉伸

(1) 弹性阶段，应力和应变在此阶段为线性关系。符合胡克定律 $\sigma = \varepsilon E$,斜率表示材料的弹性模量，直线的最高点 a 所对应的应力值为 σ_p ,表示材料的比例极限。工程上近似的用比例极限代替弹性极限。

(2) 屈服阶段，此阶段应力变化不大，应变急剧增加，材料好像失去了抵抗变形的能力。屈服阶段曲线最低点对应的应力 σ_s ，称为屈服应力。

(3) 强化阶段，材料恢复抵抗变形的能力，曲线的最高点对应的应力值 σ_b ，称为材料的抗拉强度，他是材料所能承受的最大应力值。

(4) 颈缩阶段，变形显著增加，有效截面积急剧减小。

2. 低碳钢压缩

3. 重要指标

(1) 断后伸长率 $\delta = \frac{l_1 - l}{l} \times 100\%$ ， $\delta > 5\%$ ，塑形材料。否则，脆性材料。

(2) 断面收缩率 $\psi = \frac{A - A_1}{A} \times 100\%$

4.5 铸铁的力学性能

1. 拉伸性能

曲线没有直线阶段，应力和应变的正比关系不存在。铸铁拉伸时无屈服和颈缩，在较小的拉力下突然被拉断，发生断裂破坏，端口平齐，塑形变形小。球墨铸铁

2. 压缩性能

没有直线部分，近似服从胡克定律，抗压强度高。

由于脆性材料塑形差，抗拉强度低，而抗压能力强，价格低廉，故宜用作耐压器件。

3. 常用的塑性性能指标。(P151)

(1) 断后伸长率 $\delta = \frac{l_1 - l}{l} \times 100\%$ ， $\delta > 5\%$ ，塑形材料。否则，脆性材料。

(2) 断面收缩率 $\psi = \frac{A - A_1}{A} \times 100\%$

6.例 4-7。(P164)