

高压电气间隙设计

引言

在理解了基本概念和标准后，如何将其应用于实际设计？本篇将提供一个清晰的结构化设计流程，并通过实例演示如何确定具体的数值。

结构化设计流程

定义与关系

下图（图 1）展示了一个简化的决策流程，帮助系统性地确定电气间隙。

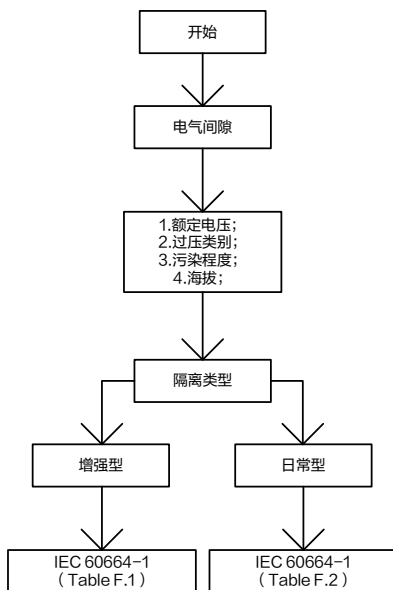


图 1. 流程图

如何确定电气间隙？（以用户安全为目标）

1. 输入参数：确定电源标称电压、瞬态过压类别、污染等级和最大工作海拔。

2. 确定额定脉冲电压：根据标称电压和过压类别，查表（如 IEC 60664-1 表 F.1（见表 1））得到所需的脉冲耐受电压。对于增强型隔离，若标准未直接给出值，常需采用更高一档的脉冲电压。

表 1. 额定脉冲耐受电压（部分）

从标称电压 AC 或 DC 得出的线对中性点电压 (V)	过压类别 (V)			
	I	II	III	IV
50	330	500	800	1500
100	800	1500	2500	4000
150	800	1500	2500	4000
300	1500	2500	4000	6000

3. 查表与海拔校正：根据脉冲电压和污染等级，查对应标准的电气间隙表（如 IEC 60664-1 表 A.1（见表 2））。若工作海拔超过 2000 米，由于空气稀薄，绝缘强度下降，需使用 IEC 60664-1 表 A.2（见表 3）的系数对电气间隙进行倍增。

表 2. 额定脉冲耐受电压（部分）

允许值 (mm)	AC(50/60 Hz) (kV)		脉冲(1,2/50 ps) (kV)
	U_{RMS} (kV)	峰值电压 (kV)	峰值电压 RMS (kV)
0.001	0.028	0.040	0.040
0.002	0.053	0.075	0.075

0.003	0.078	0.110	0.110
0.004	0.102	0.145	0.145
0.005	0.124	0.175	0.175
0.00625	0.152	0.215	0.215
0.008	0.191	0.270	0.270

表 3. 间隙校正的高度校正系数（部分）

海拔 (m)	通常大气压 (kPa)	间隙乘法系数
2000	80	1
3000	70	1.14
4000	62	1.29
5000	54	1.48

设计实例：电信 AC/DC 前端电源

应用场景：85–265V_{AC}输入，40–60V_{DC}输出，相对于大地保持悬空，安装于电信设备机箱内（污染等级 2），设计海拔 5000 米。

设计过程：

1. 确定电气间隙：过压类别 II，230V 相电压对应脉冲电压 2.5kV。因是电信应用，直接查 IEC 62368-1 表 10（见表 4）得增强型隔离间隙为 3.6mm。再应用 5000 米海拔的校正系数 1.48，最终电气间隙为 3.6mm × 1.48 = 5.33mm。

表 4. 最小间隙（部分）

峰值电压达到并包括 (V)	加强绝缘 (mm)
2000	2.54
2500	3.6
3000	4.8
4000	7.6

2. 常规瞬态（高电势）测试：如果设计仅需功能隔离，且间距小于安全标准要求，可通过在生产线上进行 100% 的耐压测试来保证质量。测试电压通常为 2 × 工作电压 + 1000V。

例如，某应用的最大工作电压为 265V_{AC} 时，将在 2 × 265 + 1000 = 1530V 条件下进行测试。因此，1.5kV 是常用的测试电压。

结论

对于高压 PCB 间距设计，工程师需要在功率密度、成本与安全可靠性之间做出精准权衡。通过系统地理解概念、掌握标准并灵活运用设计流程与例外方案，完全能够在遵循严格安全指南的前提下，成功实现高功率密度的创新设计。