

# KYN28A-12 型高压开关柜仿真分析

## 输入条件技术规格书

---

编制单位:仿真分析工作组

适用对象:甲方设计研发部

### 1 总则

#### 1.1 目的

为确保 KYN28A-12 高压开关柜在电磁场、温度场及机械动力学等多物理场仿真中的计算精度,真实反映产品在实际工况下的物理性能,特编制本数据需求书。

#### 1.2 适用范围

本文档涵盖了仿真所需的核心几何模型、材料物理属性、热工边界条件及动力学参数。

#### 1.3 重要性说明

仿真结果的置信度直接取决于输入数据的准确性。若关键参数缺失或使用通用估算值,可能导致电场击穿风险评估失效或温升计算偏差。请甲方依据本文件逐项确认。

## 2 几何数模需求 (Geometric Data)

### 2.1 原始三维装配设计文件

#### 2.1.1 需求内容

请提供 SolidWorks (.sldasm) 原生格式的三维装配图。仅在无法提供原生文件时,接受 STEP (.stp)或 SAT(.sat) 格式。

#### 2.1.2 技术必要性

原生参数化文件支持特征抑制 (Suppress) 与几何简化 (如去除螺栓、倒角),是高效前处理的基础。中间格式 (SAT/IGES) 往往丢失装配树,导致模型清理周期大幅延长。

2.1.3 缺失风险

若采用现有 SAT 导出模型，因构件从属分类不明且包含大量非分析特征，网格划分失败率极高，需大量简化模型，降低了模型的精度和设计效率。

2.2 真空灭弧室 (Vacuum Interrupter) 内部结构

2.2.1 需求内容

需提供灭弧室内部结构简化的 3D 几何体 (.sldasm 或 .sat) 或 2D 剖面图 (DWG/PDF)。重点包含：

- 1. 动、静触头的几何型面（如杯状磁场触头或纵磁触头）；
- 2. 主屏蔽罩与辅助屏蔽罩的几何外形及装配位置（需从 3D 模型或 2D 剖面图中提取）；
- 3. 波纹管的大致包络尺寸。

2.2.2 技术必要性

触头型面的曲率半径直接决定真空间隙的最大电场强度。

2.2.3 缺失风险

若缺失此项，无法评估灭弧室内部的绝缘击穿风险及电位分布，电场仿真将失去核心价值。

2.3 操作机构与脱扣器组件

2.3.1 需求内容

独立的电磁铁组件三维模型，包含线圈绑组包络、静铁芯、动铁芯（衔铁）及工作气隙。

2.3.2 技术必要性

整柜模型中通常简化了机构细节。瞬态动力学仿真必须依赖精确的磁路几何来计算电磁力。

2.4 几何参数汇总表

序号	参数名称	符号	单位	数据要求	技术说明	参考取值	典型范围
G1	触头开距	$d_{open}$	mm	设计值	决定真空间隙耐压能力，影响 BIL 及工频耐压	11	9-13
G2	超程	$d_{over}$	mm	设计值	影响触头接触压力及机械寿命	3.5	3-4
G3	触头半径	$R_c$	mm	剖面图	决定电场集中程度，锐角易击穿	R3	R2-R4
G4	气隙长度	$\delta$	mm	3D 模型	电磁铁核心行程，决定初始吸力	10	5-15
G5	爬电距离	$L_{creep}$	mm	沿面路径	绝缘设计的安规指标	240	$\geq 230$

参数说明：

- 触头开距 ( $d_{open}$ )：指真空灭弧室动、静触头在分闸位置时的轴向距离，决定断口绝缘强度。

- **超程 ( $d_{\text{over}}$ )**: 指合闸后触头继续压入的距离, 决定触头接触压力。
- **触头半径 ( $R_c$ )**: 触头端面的曲率半径, 影响电场分布。
- **气隙长度 ( $\delta$ )**: 电磁铁工作气隙, 决定初始电磁吸力。
- **爬电距离 ( $L_{\text{creep}}$ )**: 沿绝缘表面的最短距离, 安规设计指标。

### 3 材料物理参数 (Material Properties)

#### 3.1 导电材料

##### 3.1.1 需求内容

1. 母线/触头臂材质牌号 (如 T2 紫铜);
2. 实测电导率 (如 57 MS/m 或 98% IACS 等级);
3. 触头镀银层厚度及工艺标准。

##### 3.1.2 敏感度分析

电导率每下降 10%, 焦耳热损耗将增加约 10%, 直接导致最终温升超标。

#### 3.2 导磁材料 (柜体与机构)

##### 3.2.1 需求内容

1. 柜体骨架材质: 敷铝锌板、冷轧钢板或非磁性不锈钢;
2. 磁性能参数: 相对磁导率或 B-H 磁化曲线;
3. 脱扣器铁芯材料牌号 (如 DT4 电工纯铁) 及其饱和磁化曲线。

##### 3.2.2 敏感度分析

漏磁通在柜体上产生的涡流损耗是开关柜发热的重要组成部分, 其大小与材料磁导率密切相关。

#### 3.3 绝缘材料

##### 3.3.1 需求内容

1. 固封极柱 (环氧树脂): 相对介电常数、介质损耗角正切;
2. SMC/DMC 绝缘隔板: 相对介电常数、介质损耗角正切。

##### 3.3.2 敏感度分析

复合介质下的电场分布完全取决于各材料介电常数的匹配度。

3.4 材料参数汇总表

序号	参数名称	符号	单位	数据要求	技术说明	参考取值	典型范围
M1	电导率	$\sigma$	S/m	实测值	$P = I^2 / (\sigma S)$	$5.7 \times 10^7$	$\geq 5.6 \times 10^7$
M2	相对磁导率	$\mu_r$	1	B-H 曲线	影响涡流损耗	1	1-2000
M3	饱和磁感	$B_{\text{sat}}$	T	实测值	$F \propto B^2$	2.15	1.8-2.2
M4	相对介电常数	$\varepsilon_r$	1	50Hz 下	决定电位分布	4.2	3.5-5.5
M5	介质损耗	$\tan \delta$	1	50Hz 下	影响介质发热	0.02	0.005-0.05

参数说明：

- **电导率 ( $\sigma$ )**：材料导电能力的度量，直接影响回路电阻和焦耳热损耗。T2 紫铜约  $5.7 \times 10^7$  S/m。
- **相对磁导率 ( $\mu_r$ )**：材料导磁性能的度量。不锈钢为 1，电工纯铁 DT4 可达 2000 以上。
- **饱和磁感应强度 ( $B_{\text{sat}}$ )**：铁磁材料的饱和磁化点，决定电磁铁最大吸力。DT4C 约 2.15T。
- **相对介电常数 ( $\varepsilon_r$ )**：绝缘材料的介电特性，影响复合绝缘结构的电场分布。
- **介质损耗因子 ( $\tan \delta$ )**：反映绝缘材料在交流电场下的能量损耗，影响介质发热。

4 热工与流体边界条件 (Thermal & Airflow)

4.1 接触电阻

4.1.1 需求内容

主回路各搭接面、梅花触头配合面、动静触头咬合面的回路电阻实测值（微欧级）。若无实测数据，请提供相关企业标准或型式试验报告中的允许限值。

4.1.2 重要性

接触电阻发热通常占总发热量的 30%-50%，是热仿真中最关键的不确定性热源。

4.2 环境与散热边界

4.2.1 需求内容

1. 设计海拔高度（如 2000m 以上需考虑散热降额）；
2. 设计环境温度（如 40℃）；
3. 强制风冷风机型号或 P-Q 特定曲线（风量-静压曲线）。

4.3 热工参数汇总表

序号	参数名称	符号	单位	数据要求	技术说明	参考取值	典型范围
T1	接触电阻	$R_c$	$\mu\Omega$	实测值	集中热源	20	10-50
T2	环境温度	$T_{\text{amb}}$	℃	设计值	温升基准	40	40/55
T3	表面发射率	$\varepsilon$	1	表面处理	辐射散热	0.8	0.1-0.9
T4	换热系数	$h$	W/(m²K)	仿真计算	对流散热	10	5-20

参数说明：

- **接触电阻 ( $R_c$ )**：导电回路中接触面产生的电阻，是主要集中发热源。典型值 10-50 $\mu\Omega$ 。
- **环境温度 ( $T_{amb}$ )**：开关柜运行环境的基准温度。根据 GB/T 11022，标准 40℃。
- **表面发射率 ( $\epsilon$ )**：物体表面辐射散热能力的度量。喷塑表面约 0.8，抛光金属约 0.1。
- **对流换热系数 ( $h$ )**：描述表面与流体之间的热交换能力，自然对流约 5-10 W/(m<sup>2</sup>K)。

5 动力学系统参数 (Dynamics)

5.1 运动质量

需提供动触头、导电杆、绝缘拉杆及衔铁等所有运动部件的折算总质量 (kg)。用于计算动作加速度。

5.2 机械反力特性

需提供触头初压力弹簧、超程弹簧及分闸弹簧的刚度系数 ( $k$ ) 及预压缩量。电磁力必须克服此机械反力方能做功。

5.3 驱动电路

脱扣线圈的匝数、线径及驱动电压波形（恒压或电容放电）。用于计算安匝数（磁动势）。

5.4 动力学参数汇总表

序号	参数名称	符号	单位	数据要求	技术说明	参考取值	典型范围
D1	运动质量	$m$	kg	折算质量	$a = \frac{F-F_{load}}{m}$	2.5	1.5-4.0
D2	弹簧刚度	$k$	N/mm	规格书	反力曲线斜率	20	15-30
D3	线圈匝数	$N$	匝	设计值	$H = N \frac{I}{L}$	1800	1000-3000
D4	驱动电压	$U$	V	波形图	$d \frac{i}{dt}$	DC220	DC110/220

参数说明：

- **运动质量 ( $m$ )**：所有运动部件折算到触头处的等效质量，决定动作加速度。典型值 1.5-4.0 kg。
- **弹簧刚度 ( $k$ )**：弹簧的力学特性参数，决定机械反力曲线斜率。
- **线圈匝数 ( $N$ )**：电磁线圈的匝数，与电流共同决定磁动势(MMF = NI)。
- **驱动电压 ( $U$ )**：施加于电磁铁线圈的电压，常用 DC 110V 或 DC 220V。

6 数据确认与授权

为推进项目进度，若上述数据暂时缺失，甲方可选择以下方式处理：

☐ **方式 A**：由甲方协调供应商补充测试或提供。

☐ **方式 B:** 授权我方依据 IEC/GB 标准及行业典型数据库选取经验值进行计算。我方不对因原始参数偏差导致的绝对值误差负责。

甲方代表签字:

日 期: