

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	δ	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	≥ 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_{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 (δ): 电磁铁工作气隙，决定初始电磁吸力。
- 爬电距离 (L_{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	σ	S/m	实测值	$P = I^2 / (\sigma S)$	5.7×10^7	$\geq 5.6 \times 10^7$
M2	相对磁导率	μ_r	1	B-H 曲线	影响涡流损耗	1	1-2000
M3	饱和磁感	B_{sat}	T	实测值	$F \propto B^2$	2.15	1.8-2.2
M4	相对介电常数	ϵ_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 (σ)**: 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 5.7×10^7 S/m。
- 相对磁导率 (μ_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_{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 (ϵ_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

- 设计海拔高度（如 2000m 以上需考虑散热降额）；
- 设计环境温度（如 40°C）；
- 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_{amb}	°C	设计值	温升基准	40	40/55
T3	表面发射率	ϵ	1	表面处理	辐射散热	0.8	0.1-0.9
T4	换热系数	h	$W/(m^2K)$	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 $10\text{-}50\mu\Omega$ 。
- **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°C 。
- **表面发射率 (ε)**: 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 $5\text{-}10 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ 。

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	$d \frac{i}{d} t$	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 $1.5\text{-}4.0 \text{ kg}$ 。
- **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: