

[开关设备]

# 断路器机械特性仿真分析

文/平高集团有限公司 宋超 刘宇 宋广民 郭良超  
河南平高电气股份有限公司 张建飞

在产品样机研发前期，对产品进行仿真计算，可提前了解产品性能，为后续改进及试验提供指导。建立了弹簧操动机构与断路器动力学仿真分析模型，研究了分合闸弹簧性能对断路器机械特性的影响以及分闸缓冲器阻尼对断路器分闸特性的影响，通过合理选取分合闸弹簧参数及阻尼系数，最终得到了满足要求的断路器机械特性曲线，验证了弹簧操动机构与断路器匹配的可行性。

高压断路器是高压电器中重要的一类电器，断路器在工作过程中，要经受电的、热的和机械的作用，还受大气环境的影响，并要经久耐用。高压断路器只有通过触头的分合操作才能达到分开与关合的目的，因此需要一套操动装置来实现驱动功能。操动机构作为断路器的驱动单元，是高压断路器的重要组成部分。操动机构一方面要提供灭弧室所需的机械特性，另一方面又要在满足机械特性的情况下保证寿命周期内的动作可靠性。弹簧操动机构是以弹簧为储能元件，以弹性势能作为操动激励，与凸轮、连杆等构件共同组成的机械式操动机构，主要由储能机构、传动机构、连杆机构、缓冲机构、合分闸锁扣与脱扣机构构成。

在产品研发阶段，利用虚拟样机技术进行仿真计算，可提前了解产品性能，缩短研发周期。对一款弹簧操动机构与断路器进行了仿真计算，得到了断路器分合闸机械特性曲线，简要阐述了分合闸弹簧能量与断路器机械特性的匹配关系以及分闸缓冲器阻尼对断路器分闸特性的影响。

## 仿真计算假设条件

- 1) 仿真计算过程中，对物理模型进行简化，保留主传动部分，去掉与运动影响不大的零部件。
- 2) 未考虑各运动零件之间的摩擦及灭弧室压

气反力的影响。

- 3) 合闸弹簧 $P_2 = 35\ 089\text{ N}$ ，分闸弹簧 $P_1 = 12\ 277\text{ N}$ 。
- 4) 各运动零部件按实际质量赋值。
- 5) 缓冲器阻尼作用在分闸过程中动弧触头运动到100 mm时开始介入。

## 仿真计算物理模型

弹簧操动机构与断路器物理模型如图1所示。

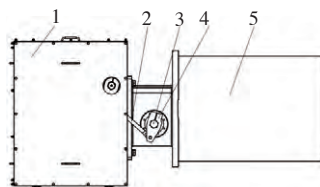


图1 电梯轿顶机构局部图

1—弹簧操动机构 2—连杆系统 3—拐臂轴  
4—拐臂 5—断路器单元

## 仿真计算模型

根据弹簧操动机构与断路器的运动关系，在动力学仿真计算软件中添加各零部件之间的约束关系及属性条件。得到弹簧操动机构与断路器计算模型如图2所示。



图2 仿真计算模型

## 结果分析

通过仿真计算,得到了未考虑灭弧室压气反力及各相对运动部件之间摩擦力情况下关键零件的运动曲线。

### 1. 灭弧室动触头运动行程曲线

灭弧室动触头运动行程曲线如图3所示。

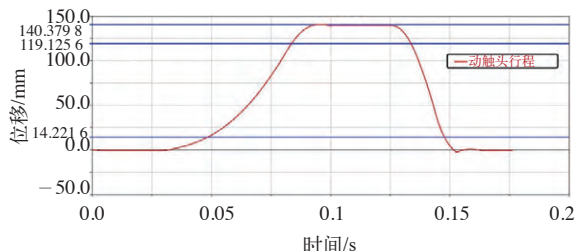


图3 灭弧室动触头行程曲线

从图3可以看出,灭弧室动触头的最大位移为140.4 mm,符合断路器的技术要求。在不考虑压气反力及各运动零部件相对摩擦力的情况下,合闸速度约为2.97 m/s,分闸速度约为7.45 m/s。

### 2. 机构输出轴输出角度曲线

机构输出轴输出角度曲线如图4所示。

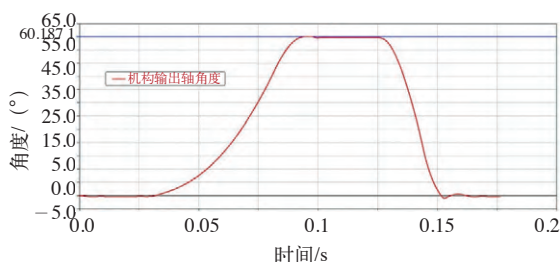


图4 机构输出轴输出角度曲线

从图4可以看出,弹簧操动机构合闸过程的最大输出角度约为60.2°,合闸稳定后的最大输出角度约为60°,符合弹簧操动机构的输出角度要求。

### 3. 拐臂盒中拐臂轴输出角度曲线

拐臂盒中拐臂轴输出角度曲线如图5所示。

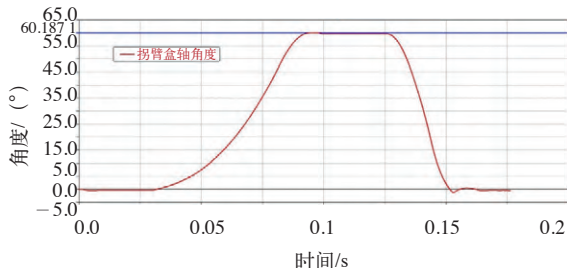


图5 断路器拐臂盒拐臂输出角度曲线

从图5可以看出,合闸过程断路器拐臂盒中的拐臂轴最大输出角度为60.2°,合闸稳定后的输出

角度约为60°,符合断路器要求。

在仿真计算调试过程中发现,分合闸弹簧的参数及分闸缓冲器阻尼参数对计算结果影响较大。分合闸弹簧为操动机构分合操作提供动力来源,分合闸弹簧能量的匹配直接影响断路器产品的稳定性与可靠性。合闸弹簧能量小,断路器产品合闸速度就低,严重情况下可导致断路器合闸不到位;合闸弹簧能量大,合闸速度就高,对弹簧操动机构和断路器灭弧室组件都会造成较大的冲击力,影响到断路器的使用寿命。分闸弹簧能量大,在合闸弹簧能量不变的情况下,会导致断路器合闸速度低,严重的话会导致断路器合不上闸;分闸弹簧能量小,会导致分闸速度低,严重情况下会导致断路器分闸不到位,无法切断故障,引起更大危害。因此,在进行弹簧操动机构产品设计时,要充分对分合闸弹簧的材料、加工工艺和载荷进行合理的设计,以提高弹簧的性能。另外,分合闸弹簧的刚度、初始力对断路器机械特性也有着显著的影响。为了满足机械特性的要求,在设计分合闸弹簧时,要选择合理的分合闸弹簧刚度及初始压缩力。

此外,缓冲器阻尼作用的介入时间及大小对分闸特性影响较大,阻尼过大,会导致分闸时间变长,分闸速度降低;阻尼过小,引起零部件碰撞,影响可靠性。此次仿真计算中,分闸行程为100 mm时,缓冲器阻尼作用开始介入,阻尼系数为12,此时能得到满足要求的分闸特性。

## 结束语

在不考虑断路器压气反力及运动部件间摩擦力的情况下,对弹簧操动机构配断路器进行了仿真分析。计算结果显示:在弹簧操动机构合闸弹簧 $P_2=35\ 089\text{ N}$ ,合闸弹簧操功约为6 kJ,分闸弹簧 $P_1=12\ 277\text{ N}$ ,分闸弹簧操功约为3.77 kJ情况下,灭弧室动触头行程为140 mm,机构输出轴输出角度为60°,拐臂盒中拐臂轴输出角度60°,合闸速度2.97 m/s,分闸速度7.45 m/s,基本符合设计要求。

通过此次仿真计算,得到了断路器机械特性曲线,并基本符合技术要求,为后续产品试验及改进奠定了基础。EA

(收稿日期:2016.08.17)

(编辑:刘群彦)