

[断路器]

分合闸弹簧参数对高压断路器机械特性影响研究

文/平高集团有限公司 郭良超 宋超 刘宇 宋广民 胡月萍

通过仿真软件建立某高压断路器虚拟样机，进行动力学仿真计算，根据计算结果分析了分合闸弹簧参数与高压断路器机械特性的影响并得出结论，该结论可以为弹簧操动机构分、合闸弹簧设计提供参考，为弹簧操动机构与断路器本体的匹配性研究奠定基础，同时对高压断路器机械特性调试也具有一定意义。

分合闸弹簧作为弹簧操动机构的核心零部件，是驱动高压断路器触头分、合动作的动力源，其参数将影响断路器的机械特性，对高压断路器的开断性能也将起到决定性的作用。因此研究分合闸弹簧参数对高压断路器机械特性影响，可以为弹簧操动机构分、合闸弹簧设计提供参考依据，为弹簧操动机构与断路器本体的匹配性研究奠定基础，同时对高压断路器机械特性调试也具有一定意义。

高压断路器虚拟样机模型的建立

1. 高压断路器的组成及动作原理

高压断路器通常是由操动机构、传动机构、提升机构和触头四部分组成，操动机构为断路器分合动作提供动力，传动机构是连接操动机构和提升机构的中间环节，提升机构用来驱动断路器动触头直线运动。提升机构和传动机构通常由四连杆机构组成。

弹簧操动机构是采用电动机旋转驱动储能机构使合闸弹簧储能，利用弹簧释放的能量对断路器进行分、合闸操作的机械装置。它的主要部分为储能系统、分合闸传动系统、缓冲系统与分合闸锁扣系统。电动机通过储能传动系统使合闸弹簧压缩储存机械能，储能完毕后通过合闸锁扣装置

使弹簧保持在储能状态并切断电动机电源。当接收到合闸信号时，合闸锁扣装置脱扣合闸弹簧储存的能量释放。此能量一部分通过传动机构使断路器的动触头动作，完成合闸操作；另一部分则通过传动机构使分闸弹簧储能，为分闸状态做准备。当接收到分闸信号的时候，分闸锁扣装置脱扣，分闸弹簧储存的能量释放，驱动触头进行分闸动作。

断路器分合闸动作原理如图1所示，图中弹簧机构合闸弹簧处于已储能状态，当合闸信号发出时，合闸脱扣器打开，合闸弹簧2能量释放，按图示方向带动合闸拉杆4向下运动，进而带动储能拐臂5、机构主轴16，凸轮15顺时针旋转，凸轮15旋转推动主拐臂12上滚子14运动，同时带动主拐臂12逆时针旋转。由于机构输出轴13与主拐臂固定联接，机构输出轴13及机构分闸拐臂11同时逆时针旋转。在机构分闸拐臂11旋转的带动下，分闸拉杆沿图示方向向上运动，带动分闸托盘8向上压缩分闸弹簧9储能，与此同时通过机构连杆带动断路器分闸拐臂6旋转，通过提升机构进而推动动触头7向上运动，完成合闸操作。当分闸信号发出时，分闸锁扣打开，分闸弹簧9能量释放，带动分闸拉杆10向下运动，通过连杆拉动断路器外拐臂6旋转通过断路器内提升机构，

拉动动触头7向下运动完成分闸操作。

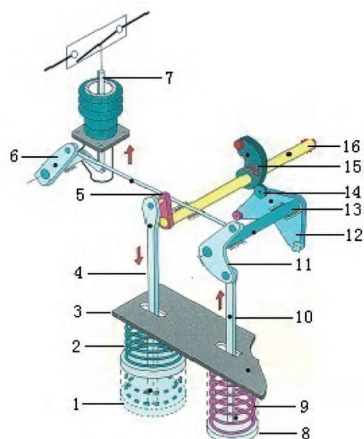


图1 断路器传动原理图

- 1—合闸托盘 2—合闸弹簧 3—固定板 4—合闸拉杆
5—储能拐臂 6—断路器拐臂 7—动触头 8—分闸托盘
9—分闸弹簧 10—分闸拉杆 11—分闸拐臂 12—主拐臂
13—机构输出轴 14—滚子 15—凸轮 16—机构主轴

2. 高压断路器的虚拟样机的建立

传动机构、提升机构，结构简单，在高压断路器实体建模时，无需简化，按照其形状尺寸，相对位置进行建模。触头部分在断路器动作过程中做往复直线运动，仿真时与几何外形无关，只与其质量有关，故可将动触头部分简化为简单圆柱体，按照实际动触头部分总质量进行赋值即可。

由于弹簧操动机构储能系统仅带动合闸弹簧压缩储能，不参与分合闸运动，故在实体建模时将其简化；合闸闭锁装置在仿真模型中仅用以确定储能轴与凸轮的初始位置，不参与运动，在实体建模中通过装配确定其相互位置关系后，可将之删除；缓冲装置主要采用油缓冲器，油缓冲器仅作用于分闸阶段，在仿真建模时，直接按照几何尺寸和油的性质对油缓冲器建模，是很复杂也是很困难的，为此采用简化的方法，即通过等效阻力系数与油缓冲器撞杆运动速度的乘积建立等效模型，因此无需建立缓冲器实体模型；对操动机构建模时，分合闸弹簧可直接在虚拟样机模型中添加，而无需在实体建模。

采用三维建模软件SolidWorks对简化后的高压断路器进行三维建模，并生成xt格式文件，导入动力学仿真软件Adams中，对各构件添加材料属性，将驱动弹簧设置为仿真软件自带的柔性连接弹簧单元，各构件之间根据实际运动情况定义运动副约束、接触约束，在运动副及接触零部件上定义摩擦力，建立高压断

路器虚拟样机如图2所示。



图2 仿真模型

动力学仿真计算

本仿真模型的输入变量为分、合闸弹簧的刚度 K 、预紧力 P_1 ，共四个可变参数，通过输入不同的变量值，即使用不同刚度和预紧力的分、合闸弹簧，仿真计算出其对应的动触头行程曲线。

1. 分闸弹簧刚度对分闸动触头位移与动触头速度的影响

我们以分闸弹簧刚度为设计变量，分闸弹簧刚度从250~500 N/mm 每50 N/mm间隔取一个刚度值，使用仿真软件设计研究模块进行仿真计算，可得出分合闸弹簧刚度与动触头的位移和速度曲线。

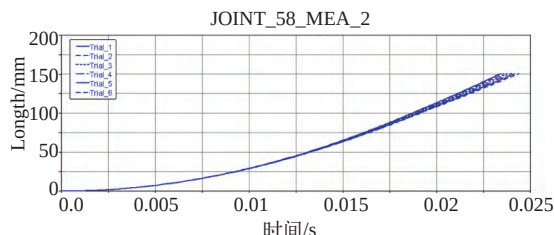


图3 分闸弹簧刚度与触头位移曲线

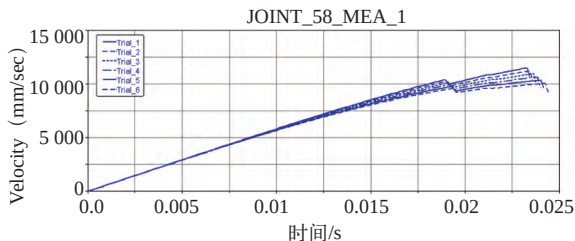


图4 分闸弹簧刚度与触头速度曲线

由图3可以看出，分闸弹簧刚度在250 N/mm到500 N/mm之间变化，分闸时间变化值只有不到1 ms，充分说明了分闸弹簧刚度值对动触头的位移量影响不大。由图4也可以看出，分闸弹簧刚度值从250 N/mm到500 N/mm之间变化，分闸速度也只有不到1 ms的变化，由此可见分闸弹簧刚度值对分闸速度的影响也不大。

2. 分闸弹簧预压缩力对分闸动触头位移与动触头速度影响

以分闸弹簧预紧力为设计变量，分闸弹簧预紧

力在40 000~60 000 N的范围内依次平均递增取10个值进行仿真计算, 仿真曲线如图5、图6所示。

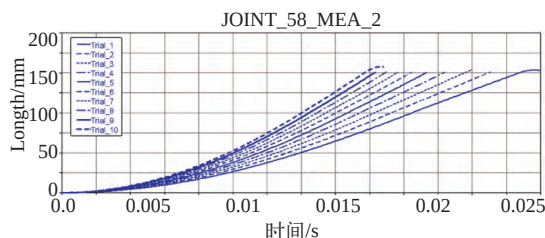


图5 分闸预紧力与触头位移曲线

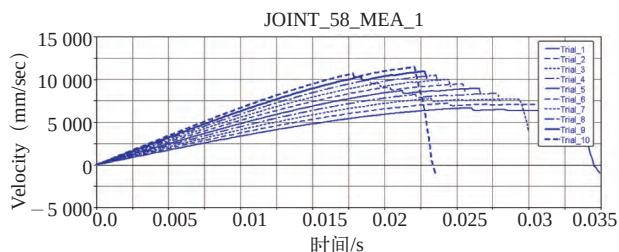


图6 分闸预紧力与触头速度曲线

通过图5、图6可以看出, 预压缩力对于分闸速度、位移以及分闸时间的影响很大, 远远大于分闸弹簧刚度对于分闸特性的影响。

3. 合闸弹簧刚度与合闸预紧力对动触头合闸位移与速度的影响研究

将合闸弹簧刚度、预紧力同时作为设计变量, 进行参数化设计, 每个设计变量各取4个值。弹簧刚度 K 分别取值为(150 N/mm、183.33 N/mm、216.67 N/mm、250 N/mm), 合闸预紧力值 P_1 分别取值为(30 000 N、36 667 N、43 333 N、50 000 N), 相互组合共16组数值进行仿真计算, 得到合闸弹簧刚度、预紧力与触头位移关系见图7, 合闸弹簧刚度、预紧力与触头速度关系见图8。

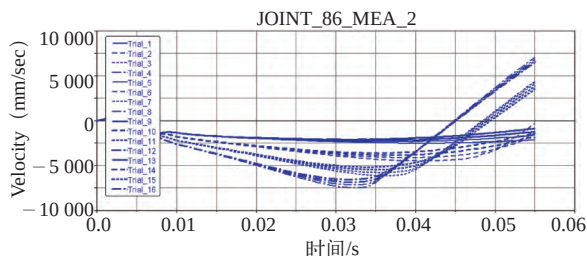


图7 合闸弹簧刚度、预紧力与触头速度曲线

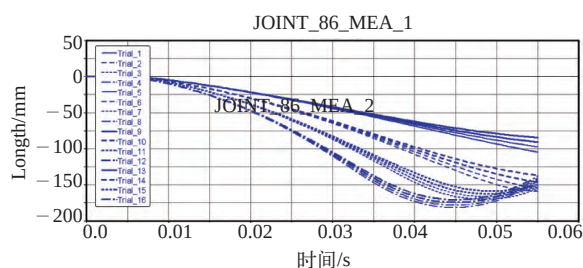


图8 合闸弹簧刚度、预紧力与触头位移曲线

根据仿真结果, 进行数据分析得出合闸弹簧刚度、预紧力与合闸特性之间的关系如表1所示。

表1 合闸弹簧参数与合闸特性的关系

曲线	最大合闸速度 /ms	刚度 / (N/mm)	预紧力 /N
Trial 1	2.95	150	30 000
Tria2	2.98	150	36 667
Tria3	4.36	150	43 333
Tria4	7.06	150	50 000
Tria5	2.95	183.33	30 000
Tria6	3.01	183.33	36 667
Tria7	4.16	183.33	43 333
Tria8	6.84	183.33	50 000
Tria9	2.96	216.67	30 000
Tria10	2.99	216.67	36 667
Trial11	3.84	216.67	43 333
Trial2	6.64	216.67	50 000
Trial3	2.95	250	30 000
Trial4	2.97	250	36 667
Trial5	3.50	250	43 333
Trial6	6.46	250	50 000

无论是位移曲线图7还是速度曲线图8, 都被合闸弹簧预紧力被分成了4个区域。从位移曲线可以看出: 弹簧预紧力在30 000 N时, 合闸弹簧刚度从150~300 N/mm, 在仿真时间55 ms内动触头都没有达到150 mm的合闸位置。当预紧力为36 667 N时, 合闸刚度250 N/mm、216.67 N/mm时, 在55 ms内也没有达到合闸位置。当刚度为183.33 N/mm, 150 N/mm在55 ms内达到了合闸位置。所以合闸弹簧预紧力必须大于36 667 N, 同时刚度不能大于183.33 N/mm, 才能保证完成合闸动作。从速度曲线看出: 在合闸弹簧刚度不变时, 合闸弹簧预紧力对合闸最大速度的影响非常大, 30 000~50 000 N的初始压力变化导致了20倍速度的提高。另一方面, 弹簧预紧力不变时, 合闸弹簧刚度对与合闸速度的影响不大, 这种影响随着初始压力增加而增大。

结束语

本文通过建立某断路器三维模型, 开展动力学仿真计算, 根据计算结果分析了弹簧刚度与预压缩力对断路器机械特性的影响。得出以下结论: ①弹簧刚度大小对于合闸、分闸特性参数影响很小, 同时这种影响随着预压缩力的增加而加大。②弹簧预压缩力对于合闸、分闸特性参数影响显著, 为了提高合闸与分闸速度、减少合闸分闸时间, 可以通过选择合适的预压缩力、刚度来达到要求。③为了达到要求合闸速度, 合闸弹簧的储能结束后的压缩力不能小于某一固定值。EA

(收稿日期: 2018.07.08)

(编辑: 白文亭)