

短路电流电动力对系统设备的破坏

在供电系统中发生短路故障时，在短路回路中短路电流要比额定电流大几倍至几十倍，通常可达数千安。短路电流通过电气设备和导体必然要产生很大的电动力，使得设备变形，并且使设备温度急剧上升，导致绝缘损坏，甚至火灾；在短路点附近电压显著下降，造成这些地方供电中断或影响电动机正常工作；发生接地短路时所出现的不对称短路电流，将对通信线路产生干扰；当短路点离发电厂很近时，将造成发电机失去同步，而使整个电力系统的运行解列。



然而经统计，近 90% 的客户包括设计院的电气设计人员因没有亲身经历过实际的短路试验或者短路故障，对于短路电流电动力对系统的破坏不了解，从而导致对短路电流限制有了错误的认识，下文我们将结合开关设备的标准介绍短路电流电动力对设备是如何造成破坏的。

1. 根据 GB/T 11022 和 IEC 60694 之 4.5 及 4.6 条的定义

1.1. 额定短时耐受电流 I_k

即我们常常所说的“热稳定电流”，其定义为：在规定的使用和性能条件下 在规定的短时间内 开关设备和控制设备在合闸位置能够承载的电流的有效值。

何为“能够承载”？就是通过此电流后，设备应能继续正常工作，载流导体的温度对铜和铜的合金不得超过 300°C ，对铝和铝的合金不得超过 200°C ，开关电器的触头不得发生熔焊，对用树脂浇铸的电器不得出现开裂等，具体参见教材《高压电器》。这一技术参数主要反映设备承受短路电流热效应的能力。“短时间”标准规定为 1s、2s、3s 及 4s。

1.2. 额定峰值耐受电流 I_p

即我们常常所说的“动稳定电流”，其定义为：

在规定的使用和性能条件下，开关设备和控制设备在合闸位置能够承载的第一个大半波的电流峰值，额定峰值耐受电流应该等于 2.5 倍额定短时耐受电流。

何为“能够承载”？就是通过此电流后设备不发生机械损坏，设备应能继续正常工作，对于开关电器的要求触头不能自行分开、不得发生熔焊等。这一技术参数主要反映设备承受短路电流电动力效应的能力，具体参见教材《高压电器》。

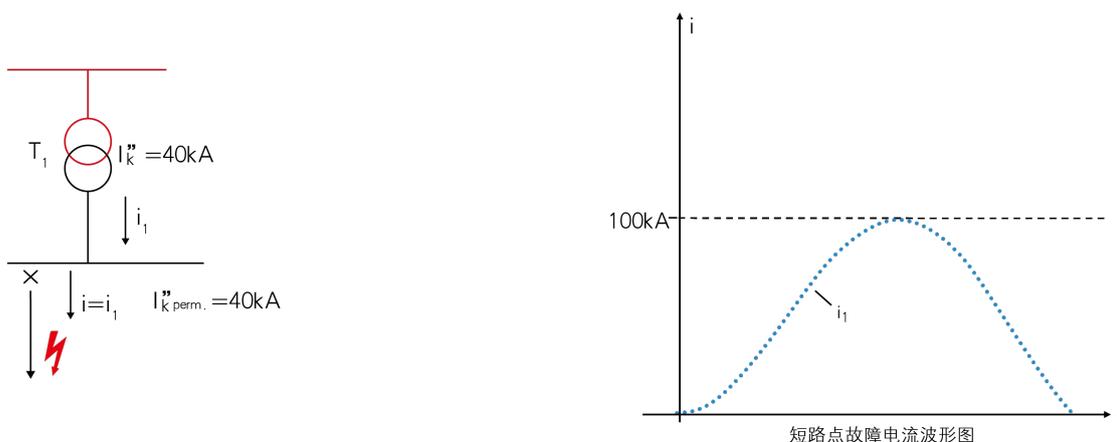
也就是说，在最不利的电路条件及故障相位角下，短路电流暂态过程第一个大半波的峰值不能超过设备的额定峰值耐受电流，否则设备就存在发生机械损坏的风险。

1.3. 对于电力系统其它设备

比如变压、母线系统、电流互感器等的定义为：

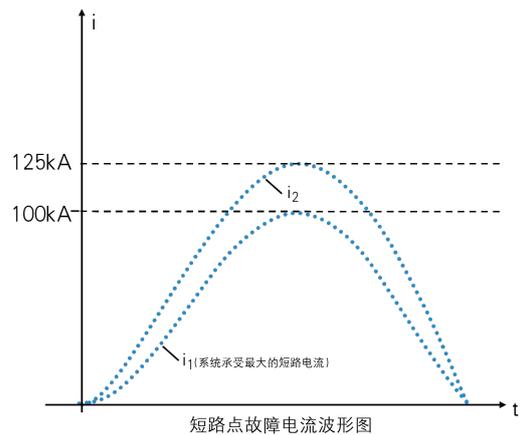
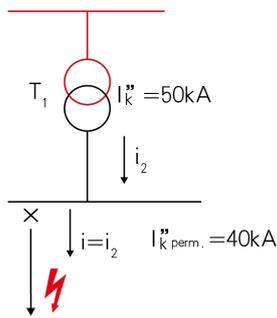
- 额定短时耐受电流：在规定的使用和性能条件下，在规定的短时间内设备能够承载的电流的有效值 I_k 。
- 额定峰值耐受电流：在规定的使用和性能条件下，设备能够承载的额定短时耐受电流第一个大半波的电流峰值 i_{peak}

以下图为例：



I_k'' 为初始对称短路电流 $I_k perm.$ 为系统所允许的额定短路电流有效值

这个系统最大可承受并允许的短路电流为 40kA（有效值），系统设备最大可承受的第一峰值电流为 100kA（瞬时值）。



如果系统预期短路电流超过这个水平时，如为 50kA（有效值），则，第一峰值的瞬时值为 125kA，系统设备（开关、母线、互感器等）的机械结构将被电动力所破坏。

2. 三相导体短路时的电动力计算

不论是开关设备还是母线，载流导体位于磁场中要受到磁场力的作用，这种力称为电动力。电力系统短路时，导体中通过很大的短路电流，导体会持续遭受巨大的电动力作用，其中短路电流第一个大半波达到峰值时电动力最大。如果系统设备导体机械强度不够，或者短路电流的第一峰值电流（第一个大半波的峰值 i_{peak} ）超过系统设备的额定峰值耐受电流值，系统设备将因电动力的作用而变形或损坏。

我们以平行三相导体的电动力计算为例：

$$F_{max} = 1.73 \times 10^{-7} (L/a) i_{sh}^2$$

$$i_{sh} = 1.82 I_m = 1.82 \times \sqrt{2} I_k''$$

$$i_{sh} = i_{peak}$$

L: 载流导体的长度 a: 载流导体的截面积 i_{sh} 为短路冲击电流幅值

3. 电动力稳定校验

电动力稳定是电气设备承受短路电流机械效应的能力，亦称为动稳定。满足动稳定的条件为：

$$i_{sh} \leq i_{es} \text{ 或 } I_{sh} \leq I_{es}$$

式中： i_{sh} ， I_{sh} 分别为短路冲击电流幅值及其有效值； i_{es} ， I_{es} 分别为电气设备允许通过的动稳定电流幅值及其有效值， $i_{es} = i_p$ 。

所以当系统预期短路电流的冲击电流幅值超过系统设备运行的动稳定电流幅值时，即：

$$i_{sh} > i_{es} = i_p$$

系统设备的机械结构将被破坏。

所以，电气系统在短路时，如果预期短路电流水平超过了开关设备的额定值，系统设备首先在第一个大半波峰值时遭受动稳定的破坏，然后持续发热（详细参见热稳定的校验，其与热稳定电流的平方和时间成正比）造成热稳定的破坏。按照国际的经验，短路电流水平达到系统设备的额定值的 90% 时，就说明预期短路已经达到了危险的水平，就必须考虑相应的限流措施，即采取相应设备或措施，使得预期第一峰值小于或等于系统设备的额定峰值耐受电流 I_p 。