

ETAP PowerStation 在继电保护配合中的应用

冯 君

(中国石化集团上海工程有限公司, 上海 200120)

摘 要: 随着石化装置规模的不断扩大, 对供电的可靠性和稳定性要求更加苛刻。利用电力系统分析仿真软件对系统进行继电保护配合研究已逐渐成为电气工程师的主要应用工具。首先概述了电力系统继电保护配合重要意义, 随后利用 ETAP PowerStation 软件结合实例分析了继电保护配合。

关键词: 继电保护; ETAP PowerStation; 电力系统; 整定计算

0 引 言

电力系统中的各种设备, 由于内部绝缘的老化、损坏或由于工作人员的误操作, 或由于雷电、外力破坏等影响, 可能发生故障和不正常运行情况。

电力系统中发生故障时, 若不采取有效措施, 势必给国民经济带来重大损失。因此, 一旦电力系统中出现故障时, 必须尽快地将故障切除, 恢复正常运行, 减少对用电单位的影响; 而当出现不正常运行方式时要及时处理, 以免引起设备故障。继电保护的任务就是自动、迅速、有选择性地将系统中的故障切除, 或在系统出现不正常运行情况时, 发出各种信号。

本文首先结合某工程项目计算相关继电器保护整定值, 并对计算值进行分析校验, 随后通过 ETAP PowerStation 软件进行模拟仿真, 介绍如何通过采用 ETAP PowerStation 对电力系统中继电器的设置, 来实现继电保护配合。

1 继电保护整定相关计算

1.1 电力系统及保护配置

本文以某一中型化工装置供电系统为例来分析电力系统继电保护。该装置内设 10 kV 变电所一座, 电源由上级变电所 10 kV 母线供电, 即经 1 km 的电缆送至区域 10 kV 变电所。已知上级变电所 10 kV 母线最大运行方式下短路容量为 250 mVA, 最小运行方式下短路容量为 150 mVA。系统 10 kV 单线图如图 1 所示。表 1 中列出本项目继电器选型、保护配置及 CT 变比。

1.2 整定值计算

首先在 ETAP PowerStation 中根据已建模型

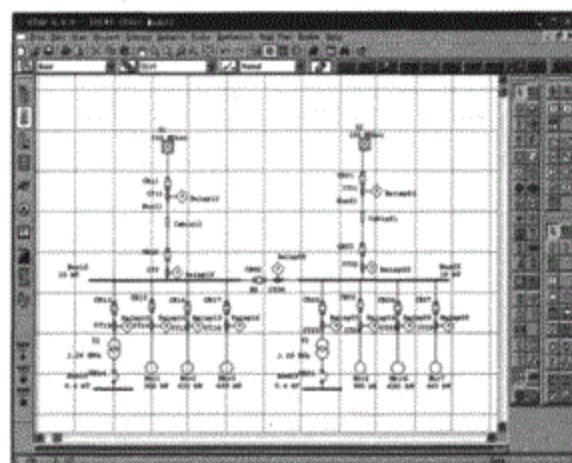


图 1 系统单线图

表 1 继电器选型、保护配置及 CT 变比

继电器名称	继电器型号	开关设备名称	保护配置	CT 变比
Relay11/21	GE F650	上级变电所 10 kV 出线侧	延时速断/过流(反时限)	1250:5
Relay12/22	GE F650	区域内变电所 10 kV 进线侧	延时速断/过流(反时限)	1250:1
Relay00	GE F650	区域内变电所 10 kV 母联侧	速断(后加速)	1250:1
Relay13/23	GE F650	10 kV 变压器出线侧	速断/过流(定时限)	150:1
Relay14/24	GE F650	10 kV 电动机出线侧	速断/过负荷(反时限)	100:1
Relay15/25	GE F650	10 kV 电动机出线侧	速断/过负荷(反时限)	100:1
Relay16/26	GE F650	10 kV 电动机出线侧	速断/过负荷(反时限)	75:1

注: 本文仅以相线过流与速断做分析。

做短路计算,得出表 2 中继电保护整定计算所需数据。

表 2 短路计算结果

短路母线	最大运行方式下三相短路电流	最小运行方式下三相短路电流
区域变电所 10 kV 母线段	14.3 kA	8.8 kA
区域变电所 0.4 kV 母线段	35.1 kA	33.0 kA

根据继电保护配置做相应整定值计算如下:

1.2.1 上级变电所 10 kV 出线回路的保护(Relay11/21)

CT 变比: $n_1 = 1\ 250/5 = 250$

(1) 延时速断保护。电流速断保护:取值应小于或等于灵敏度为 2 时的线路始端两相最小短路电流,且应躲过最大运行方式下 0.4 kV 母线短路的穿越电流值,即 $I_{dij} \geq 1.4\text{ kA}$ 。

根据 ETAP 软件短路计算区域变电所 10 kV 母线始端最小短路电流为 8.66 kA,即 $I_{dij} \leq I''_{1k2min}/(2n_1) = 0.87 \times 8660/(2 \times 250) = 15.07\text{ A}$,取整定值 $I_{dij} = 14\text{ A}$,延时动作时间为 0.7 s。

(2) 过电流保护。

$I_{dij} = K_k K_{js} I_{ph}/(K_h n_1) = 1.2 \times 1 \times 650/(0.85 \times 250) = 3.67\text{ A}$ 本工程选用微机型综合保护继电器, K_k 选取 1.2, 返回系数 K_h 选取 0.85。

I_{ph} 为线路过负荷电流(包括电动机起动所引起的电流),根据本工程用电容量及电动机数量取值 650 A,取整定值 $I_{dij} = 4\text{ A}$,延时动作时间为 0.9 s。

1.2.2 区域内 10 kV 进线柜的保护(Relay12/22)

CT 变比: $n_1 = 1\ 250/1 = 1\ 250$

(1) 延时速断保护。电流速断保护:与上级变电所 10 kV 出线柜整定值配合,即 $I_{dij} = I_{dijl} \times 250/1250/1.15 = 2.43\text{ A}$,取整定值 $I_{dij} = 2.4\text{ A}$,延时动作时间为 0.5 s。

(2) 过电流保护。 $I_{dij} = K_k K_{js} I_{ph}/(K_h n_1) = 1.2 \times 1 \times 650/(0.85 \times 1\ 250) = 0.734\text{ A}$ 。

本工程选用微机型综合保护继电器, K_k 选取 1.2, 返回系数 K_h 选取 0.85。取整定值 $I_{dij} = 0.75\text{ A}$,延时动作时间为 0.7 s。

1.2.3 区域内变电所 10 kV 母联柜的保护(Relay00)

(1) 电流速断保护(后加速)。

$$I_{dij} = I_{dijl} = I_{dijl} \times 250/1250/1.15 = 2.43\text{ A}$$

取整定值 $I_{dij} = 2.4\text{ A}$,保护在母联开关合闸的时候投入 0.5 s,然后退出运行。

1.2.4 区域内 10 kV 变压器出线柜的保护(Relay13/23)

CT 变比: $n_1 = 150/1 = 150$

1 250 kVA 油浸式变压器 10 kV 侧额定电流

$$I_e = S_e/(1.732 \times U_e) = 72.17\text{ A}$$

(1) 速断保护。1 250 kVA 变压器 380 V 侧最大运行方式三相短路电流值为 35.1 kA。

$$I_{dij} = K_k K_{js} I''_{2k3max}/n_1 = 1.3 \times 1 \times 35\ 100 \times 0.38/10/150 = 11.56\text{ A}$$

本工程选用微机型综合保护继电器, K_k 选取

1.3。取整定值 $I_{dij} = 11\text{ A}$ 。

灵敏度校验:

$$K_m = I''_{1k2min}/I_{dij} = 0.87 \times 8\ 800/(11 \times 150) = 4.64 \geq 2$$

满足要求。

(2) 过电流保护。

$$I_{dij} = K_k K_{js} K_{ph} I_e/(K_h n_1) = 1.2 \times 1 \times 1.5 \times 72.17/(0.85 \times 150) = 1.02\text{ A}$$

本工程选用微机型综合保护继电器, K_k 选取

1.2, 返回系数 K_h 选取 0.85。

取整定值 $I_{dij} = 1\text{ A}$,延时动作时间为 0.7 s。

灵敏度校验(按电力系统最小运行方式下,低压侧两相短路时流过高压侧的短路电流校验):1 250 kVA 变压器 380 V 侧最小运行方式三相短路电流值为 33.0 kA,折算至 10 kV 侧 $I''_{1k2min} = 33\ 000 \times 0.38/10 = 1\ 254\text{ A}$, $K_m = I''_{1k2min}/I_{dij} = (2/1.732) \times 0.87 \times 1254/(1 \times 150) = 8.4 \geq 1.5$,满足要求。

1.2.5 10 kV 电动机(900 kW)出线柜的保护(Relay14/24)

CT 变比: $n_1 = 100/1 = 100$

电动机额定功率 $P_e = 900\text{ kW}$, $I_e = 60\text{ A}$ 。

(1) 速断保护。

$$I_{dij} = K_k K_{js} K_{ph}/n_1 = 1.5 \times 1 \times 7 \times 60/100 = 6.3\text{ A}$$

本工程选用微机型综合保护继电器, K_k 选取

1.5。取整定值 $I_{dij} = 6.3\text{ A}$ 。

灵敏度校验(忽略电动机配电电缆阻抗):

$$K_m = I''_{1k2min}/I_{dij} = 0.87 \times 8\ 800/(6.3 \times 100) = 12.15 \geq 2$$
, 满足要求。

(2) 过负荷保护。

$$I_{\text{daj}} = K_k K_{\text{js}} I_e / (K_b n_1) \\ = 1.2 \times 1 \times 60 / (0.85 \times 100) = 0.85 \text{ A}$$

本工程选用微机型综合保护继电器, K_k 选取 1.2, 返回系数 K_b 选取 0.85。

取整定值 $I_{\text{daj}} = 0.85 \text{ A}$, 延时动作时间为 10 s (躲过电动机起动时间)。

1.2.6 10 kV 电动机 (630 kW) 出线柜的保护 (Relay15/25)

CT 变比: $n_1 = 100/1 = 100$

电动机额定功率 $P_e = 630 \text{ kW}$, $I_e = 42 \text{ A}$ 。

(1) 速断保护。

$$I_{\text{daj}} = K_k K_{\text{js}} K_q I_e / n_1 = 1.5 \times 1 \times 7 \times 42 / 100 = 4.4 \text{ A}$$

本工程选用微机型综合保护继电器, K_k 选取 1.5。

取整定值 $I_{\text{daj}} = 4.4 \text{ A}$ 。

灵敏度校验 (忽略电动机配电电缆阻抗): $K_m = I''_{\text{k2min}} / I_{\text{da}} = 0.87 \times 8800 / (4.4 \times 100) = 17.4 \geq 2$, 满足要求。

(2) 过负荷保护。

$$I_{\text{daj}} = K_k K_{\text{js}} I_e / (K_b n_1) = 1.2 \times 1 \times 42 / (0.85 \times 100) = 0.59$$

本工程选用微机型综合保护继电器, K_k 选取 1.2, 返回系数 K_b 选取 0.85。

取整定值 $I_{\text{daj}} = 0.59 \text{ A}$, 延时动作时间为 10 s (躲过电动机起动时间)。

1.2.7 10 kV 电动机 (450 kW) 出线柜的保护 (Relay16/26)

CT 变比: $n_1 = 75/1 = 75$

电动机额定功率 $P_e = 450 \text{ kW}$, $I_e = 30 \text{ A}$ 。

(1) 速断保护。

$$I_{\text{daj}} = K_k K_{\text{js}} K_q I_e / n_1 = 1.5 \times 1 \times 7 \times 30 / 75 = 4.2 \text{ A}$$

本工程选用微机型综合保护继电器, K_k 选取 1.5。取整定值 $I_{\text{daj}} = 4.2 \text{ A}$ 。

灵敏度校验:

$$K_m = I''_{\text{k2min}} / I_{\text{da}} = 0.87 \times 8800 / (4.2 \times 75) = 24.3 \geq 2$$
, 满足要求。

(2) 过负荷保护。

$$I_{\text{daj}} = K_k K_{\text{js}} I_e / (K_b n_1) = 1.2 \times 1 \times 30 / (0.85 \times 75) = 0.57 \text{ A}$$

本工程选用微机型综合保护继电器, K_k 选取 1.2, 返回系数 K_b 选取 0.85。取整定值 $I_{\text{daj}} = 0.57 \text{ A}$, 延时动作时间为 10 s (躲过电动机起动时间)。

2 ETAP Power Station 软件仿真继电器保护配合

2.1 ETAP Power Station 概述

ETAP (Electrical Transient Analysis Program) Power Station 是由美国 OTI 公司开发的 32 位 Windows 环境下全图形界面的电力系统仿真分析/计算高级应用软件。ETAP Power Station 提供完整的图形和编辑器, 以最简洁的方式建立单线图。利用单线图的编辑工具条, 可以图形化地增加、删除、移动或联接设备; 放大或缩小; 显示或隐藏网络; 改变设备大小、方向、符号或显示方法; 输入设备属性; 设置运行状态等。可以按照不同的连接方式、不同的运行要求、不同的负载状况、不同的电气工程参数、不同的计算参数等来设置或改变系统运行状态, 并在此基础上进行各种计算与分析^[4]。

ETAP Power Station 的计算分析设计模块种类繁多, 功能强大。包括潮流计算、短路计算、电机起动、暂态稳定、最优潮流、谐波分析、可靠性分析、直流系统分析、地下电缆系统、变电站接地和继电保护配合等分析计算功能。

2.2 ETAP Power Station 继电器选择与参数设定

首先在 ETAP Power Station 完成单线图 (如图 1 所示) 的建立后可以为其 CT 输入变比 (见图 2), 并可以在库中选择继电器 (见图 3), ETAP 软件中集成了大部分主流品牌的高低电压开关及综合继电器, 使得用户可以方便选用合适的产品, 并可以根据具体要求在数据库内增加相应特殊设备, 以增加计算分析的可信性。ETAP Power Station 的继电保护配合分析首先要通过各种电气设备编辑器结合实例计算整定结果对单线图内的相关电气设备进行参数设置。继电器的参数设定包括保护类型选取、曲线类型、整定电流值设置、延时时间设置等。

在继电器选择界面内可选用适合该项目的综合保护继电器, ETAP 软件数据库内将国内外常用

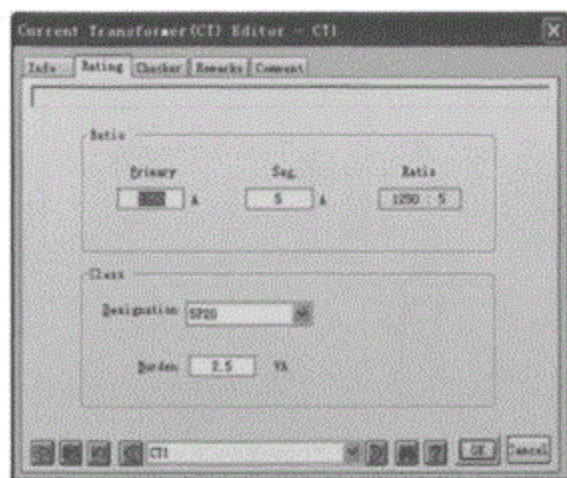


图2 CT参数输入页

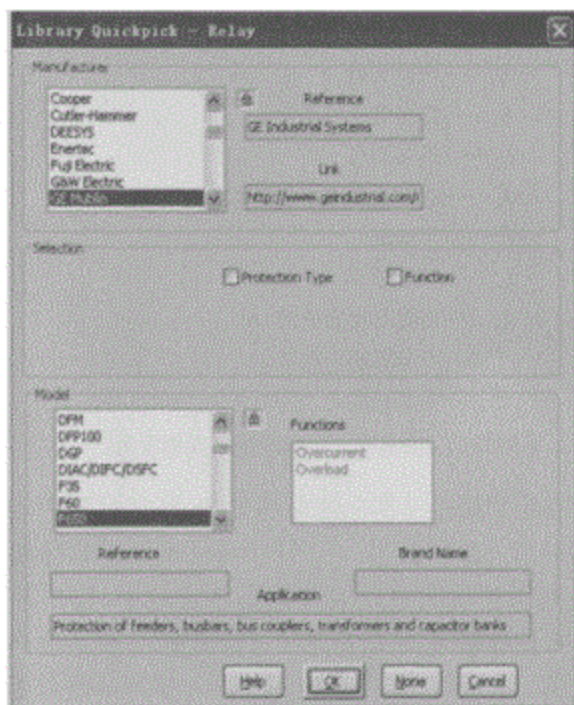


图3 继电器选择界面

的继电器一一列出,方便用户选择。选定继电器(本项目以 GE F650 综合保护继电器为例)后可根据实例中的计算结果导入 ETAP,如图 4 所示。这里可以根据需要设置相线、零序、单相接地、负序等保护。

参数输入完成后,需将继电器的输出与对应的断路器连锁(如图 5 所示),以使在继电器动作后发送分闸信号至断路器。

2.3 ETAP Power Station 继电保护配合

应用 ETAP 软件前,上述计算整定结果被输入综合继电器后,通过现场运行调试,也能使电力系统安全可靠运行,但没有直观的配合曲线,难以

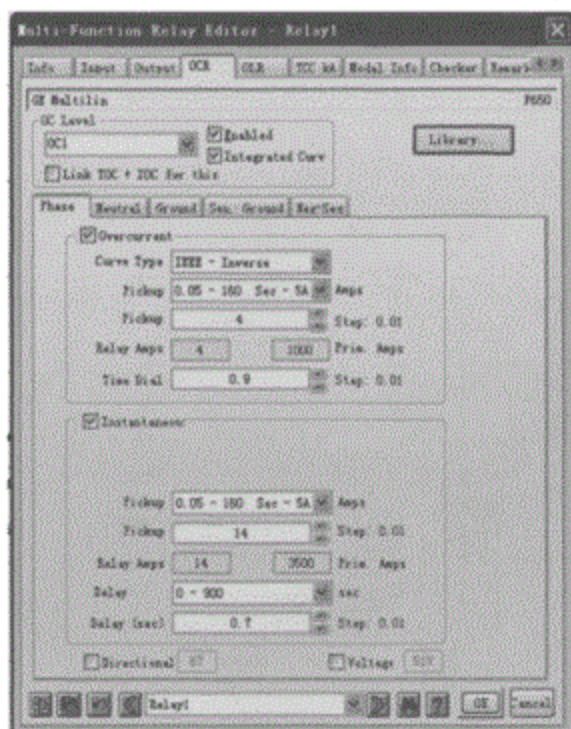


图4 继电器整定值输入界面



图5 受控断路器选择界面

让人信服。在使用 ETAP 软件后,不但可以给出相关继电器配合的曲线,而且还可以直接拖动某一整定曲线,使系统更符合继电保护配合的基本要求。下面结合计算实例通过 ETAP 软件仿真某工程电力系统继电保护配合情况。

图 6 为本项目中 900 kW 电动机回路的启动电流与本柜综合保护继电器及上级综合保护继电器配合的曲线,曲线中可直观地观察到:综合保护继电器中过负荷延时时间躲过了电动机启动时间,速断保护整定电流大于电动机的启动电流,保护电动机回路的同时,不会影响电机的正常启动;区域 10 kV 进线柜继电器和上级变电所 10 kV 出线柜内继电器作为该电动机回路的后备保护,在本柜继电器故障或拒动的情况下,实现后备保护,及时切除故障,以免扩大故障影响。

2.4 ETAP Power Station 动作顺序

在 ETAP 中,完成整定后可以仿真在任意点插入故障后继电器的动作顺序。其动作顺序和准

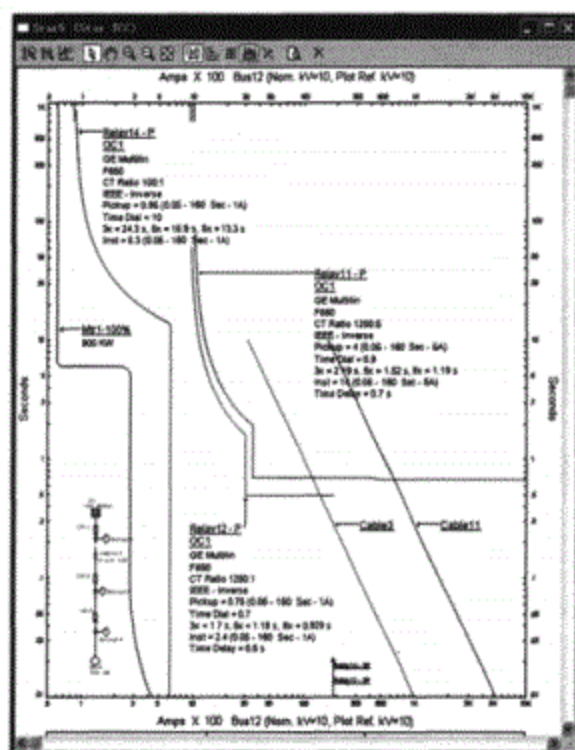


图6 电动机起动电流与该支路继电器配合曲线

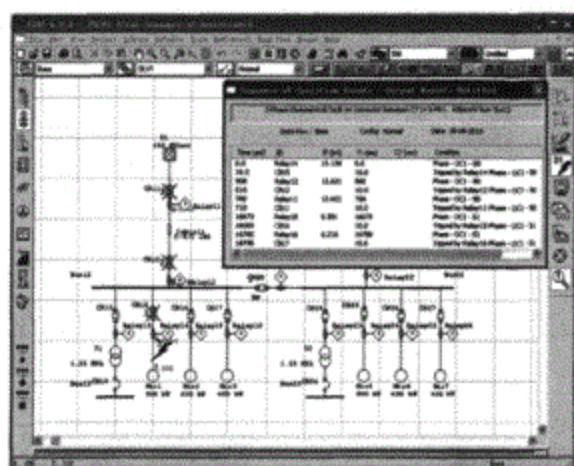
确的动作时间可以在事件查看器或报告中查看,方便直观。

如图7所示,在电动机出口插入故障后,在单线图上可以显示断路器的动作顺序,在单线图上可以看到,CB15 首先动作,CB12 和 CB11 作为它的后备保护。打开动作序列查看器,可以看到电动机侧发生故障后在 0 s 时,Relay14 检测到了故障电流并对 CB15 发出跳闸信号,10 ms 后断路器完全断开;如果 Relay14 或 CB15 未能正常动作,0.5 s 时 Relay12 检测故障电流并对 CB12 发出跳闸信号,10 ms 后断路器完全断开;如果 Relay12 或 CB12 未能正常动作,0.7 s 时 Relay11 检测故障电流并对 CB11 发出跳闸信号,10 ms 后断路器完全断开。如此详细的动作顺序及时间对系统设计和运行有较强的指导作用。

在完成整定的系统中,利用该功能可以直观地对系统进行校验,查看各级保护之间的配合和相互影响情况,对系统的运行做出适当的调整,并为故障发生后处理情况做出有力指导。

3 结 语

电力系统越来越复杂的今天,电力系统的安全运行的要求也越来越高。由此带来的继电保



符号说明:

I_{ik2min} ——最小运行方式下线路两相短路超瞬态电流, A

K_k ——可靠系数

K_h ——继电器返回系数

K_{js} ——接线系数

K_q ——电动机起动电流倍数

K_e ——灵敏度

I_{ad} ——整定值, A

I_{ph} ——线路过负荷电流, A

I_e ——电动机额定电流, A

P_e ——电动机额定功率, kW

图7 继电器动作顺序及事件查看器

护整定和校验工作也越来越复杂,整定过程中需要调用大量的数据。ETAP Power Station 软件的继电保护功能可以大大提高整定效率,输出的 TCC 曲线精确,可以对曲线进行调整,方便系统的校验。由此可见,应用 ETAP Power Station 电力系统软件对继电保护配合进行分析和选择可显著提高工作效率和质量,能使用户的分析和研究工作事半功倍。

【参考文献】

- [1] 水利电力部生产司组. 继电保护[M]. 北京:水利电力出版社,1985.
- [2] 中国航空工业规划设计研究院组. 工业与民用配电设计手册[M]. 北京:中国电力出版社,2005:249-337.
- [3] 欧特艾远东(南京)计算机技术有限公司. ETAP 电力及电气系统综合分析计算软件应用培训例题使用手册[G].
- [4] 冯煜理,王雷,陈陈,等. 电力系统仿真软件 ETAP 的特性与功能简介[J]. 供用电,2005,22(5):23-26.