

磁平衡差动保护在大功率电动机上的应用及整定计算

分析了磁平衡差动保护的原理及整定原则；针对呼伦贝尔金新化工有限公司经消弧线圈接地的10 kV系统，阐述了甲烷转化2 800 kW同步电动机配置磁平衡差动保护整定与系统中性点接地方式之间的联系，介绍了微机综合保护装置与磁平衡差动电流互感器的应用配合。根据厂内供用电系统的实际投用情况，分析计算了厂内10 kV系统的电容电流以及单相接地时经消弧线圈补偿后的残流，同时通过数次接地故障的实测数据和录波验证了计算方法的正确性，并据此提出了配置磁平衡差动保护的电动机在经消弧线圈接地系统中的整定方法。

李晓川/呼伦贝尔金新化工有限公司

0 引言

呼伦贝尔金新化工有限公司（以下简称：金新化工）50万t合成氨/80万t尿素项目的甲烷转化界区联合压缩机的主要功能是提升合成气的压力。其压缩介质里富含甲烷和氢气等易燃易爆气体；又因往复式压缩机飞轮转矩大，故选用南阳防爆的增安型无刷励磁同步电动机（TAW2800-20，Exe II T3）。由于保护灵敏度需要，两台2 800 kW同步电动机机端配置了磁平衡差动电流互感器（以下简称差流TA），采用了南京南瑞NSP711系列微机大型同步电动机综合保护装置及测控装置。

1 磁平衡差动保护原理及整定原则

1.1 磁平衡差动保护的原理

常规差动保护一般是指纵联差动保护，需要在电动机的中性点和进线端配置两组同型号规格的TA，两端的电流信

号同时引入继电保护装置。两组TA始终存在一定制造上的误差。

磁平衡差动保护的出现一举突破以前的瓶颈，其原理就是利用电动机同相线圈首尾一次电流回路同时穿过磁平衡差流TA，正常情况下由于同相线圈首尾流过的电流大小相等，方向相反，那么产生磁通平衡，互感器二次侧不产生电流，这类似于零序电流互感器。当电动机相间短路或定子绕组短路时，磁平衡被破坏，互感器二次侧感应出电流，达到整定值后，保护装置出口动作断路器跳闸。这避免了因电动机起动或外部故障造成TA饱和而引起的差流，同时也避免了两组TA之间的特性差异引起的不平衡电流。差流信号以最直接准确的方式引入保护装置。这样大大增加了差动保护的灵敏性和可靠性。

1.2 磁平衡差动保护的整定原则

由于正常工况下磁平衡差流TA内是没有电流的，因此差动保护定值应按照躲过电动机外部故障时流过磁平衡差流TA的最大不平衡电流以及电动机定子绕组单相接地时流过故障相磁平衡差流TA的电容电流来整定。

2 磁平衡差动保护在2 800 kW电动机上的应用及整定计算

2.1 整定条件分析

磁平衡式差动保护可以反映电动机定子绕组的相间短路故障、接地短路故障，不反映定子绕组每相自身的匝间短



李晓川/工程师

关键词/Keywords

磁平衡差动保护 ·
同步电动机 ·
单相接地 ·
残流 ·

路故障（差流为零）。因电动机相间短路电流较大，而绕组单相接地时的短路电流很小，若要可靠反映这两种故障，磁平衡式差动保护的整定原则如下。

1) 躲过系统中其他线路或设备发生单相接地故障时, 流过差流TA的最大不平衡电流。系统中其他回路发生单相接地故障时, 电动机非故障相提供的最大电容电流 I'_{CM} 即为流过非故障相磁平衡差流TA的最大不平衡电流, 即

$$I'_{CM} = \sqrt{3}U_N\omega C_{OM} \quad (1)$$

式中, I'_{CM} 为流过非故障相差流 TA 的最大不平衡电流; U_N 为相电压; ω 为系统角频率; C_{OM} 为电动机绕组对地电容 $0.03 \mu\text{F}$ (出厂值)。经计算一次电容电流只有 0.1 A , 非常小, 而 $50/1$ 差流 TA 反映到二次电流为 0.002 A , 无法整定, 故考虑另一个条件整定。

2) 按照同步电动机内部单相接地时流过磁平衡差动保护TA的最大差电流来整定。电动机内部定子绕组单相接地时,故障相差动保护TA回路中形成了最大差流,此差流就是全系统单相接地电容电流在绕组接地点构成的短路电流。电动机内部故障时系统电流分布如图1所示。

2.2 系统单相接地时电容电流的计算

金新化工10 kV供电系统投运线路情况如图2所示。

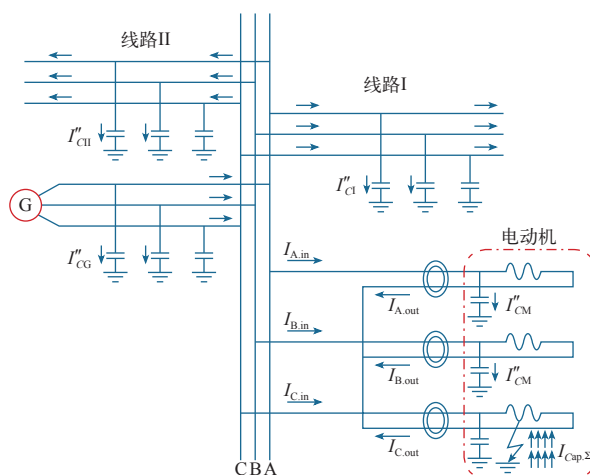


图1 电动机内部故障时系统电流分布

全系统单相接地时故障点的电容电流为

$$I_{\text{Cap}} = 3U_N \omega C_\Sigma \quad (2)$$

式中, C_2 为单相接地时系统对地总电容。整个系统的对地总电容因为牵涉到各种电缆和电气设备的对地电容, 均需查出厂值或实测, 计算不方便。因此可使用下列经验公式来计算

$$I_{\text{Cap}} = K_1 K_2 \sum I_{\text{Cd}} \quad (3)$$

式中, K_1 为天气系数, 北方气候干燥为1; K_2 为带电高压电缆及设备的系统电容增值系数, 10 kV系统取1.16; $\sum I_{Cd}$ 为系统中所有带电运行电缆线路单相接地电容电流之和, 设备电容电流相对可忽略, 即

$$\sum I_{Cd} = KU_r L \quad (4)$$

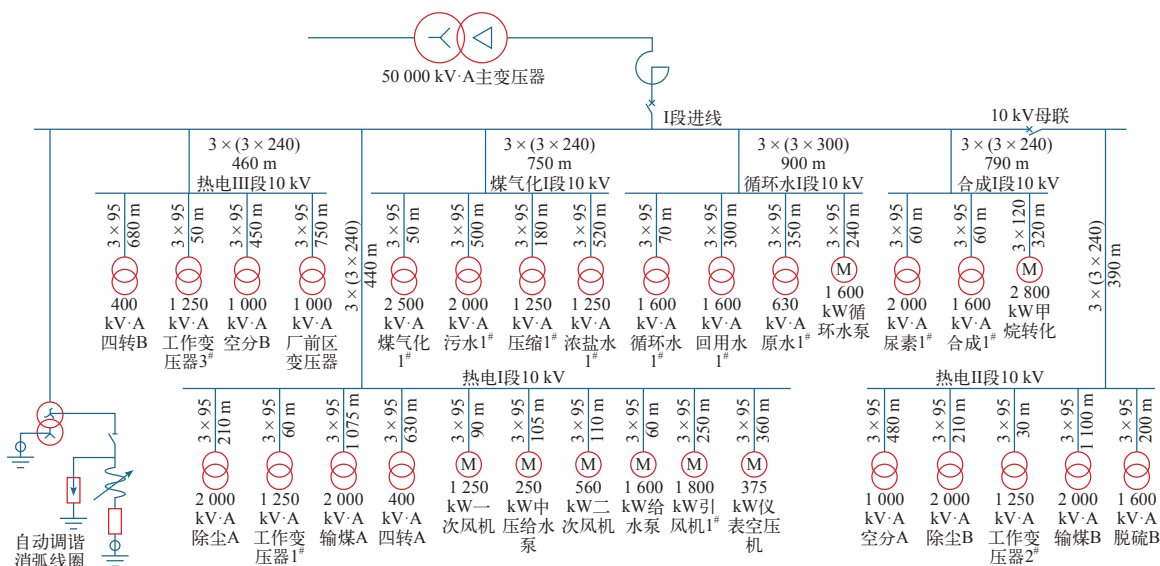


图2 金新化工10 kV系统具体投运线路情况

式中, 10 kV系统 $K=(95+1.44\text{ s})/(2\ 200+0.23\text{ s})$;
 U_l 为线路额定线电压; L 为线路长度。

图2中已带电10 kV线路和电气设备的相应参数, 依据式(3)~式(4), 计算结果如表1所示。

表1 10 kV系统I段目前所投用线路接地电容电流统计

序号	电缆规格	系数 K	带电电缆总长度 L/km	电压 U_l/kV	电容电流 I_c/A
1	3×300	0.232	2.7	10	6.26
2	3×240	0.195	7.74	10	15.09
3	3×150	0.139	0.32	10	0.45
4	3×120	0.12	1.75	10	1.25
5	3×95	0.104	9.03	10	9.39
根据式(4), 电缆线路总电容电流合计					32.44
根据式(3), K_1 取1, K_2 取1.16					37.63

2.3 消弧线圈补偿对单相接地电容电流的影响

若10 kV系统为不接地系统, 那么同步电动机的差动保护动作即可按小于此值来整定。但金新化工10 kV供电网络是经消弧线圈接地, 并且消弧线圈为调匝式自动调谐跟踪补偿(调谐控制器为思源电气XK-II型, 15档, 含接地选线功能)。系统单相接地时, 消弧线圈跟踪补偿故障点接地电容电流如图3所示, 控制残流在5 A左右且不超过10 A。

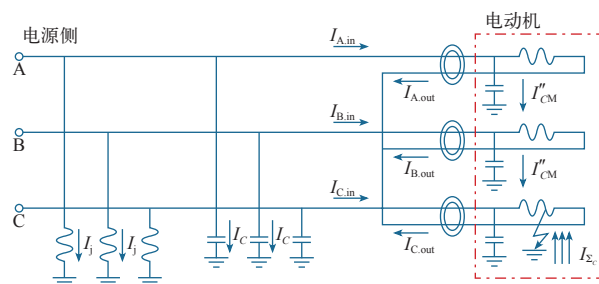


图3 电动机内部单相接地时经消弧线圈补偿后系统电流分布

金新化工10 kV系统2010年5月投运行以来, 历次系统单相接地故障记录由图4~图7和表2可见: 系统单相接地时电容电流的实测值在37 A左右, 与计算值相符, 消弧线圈调谐控制器在单相接地时跟踪补偿, 将脱谐度控制在一定范围, 使得残流在5 A左右, 10 A以内。

残流的计算式为

$$I_\delta = I_L - I_C \quad (5)$$

式中, I_δ 为残流; I_L 为消弧线圈电感电流; I_C 为电

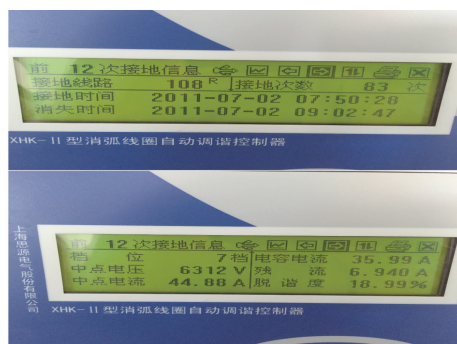


图4 2012年7月26日单相接地故障记录

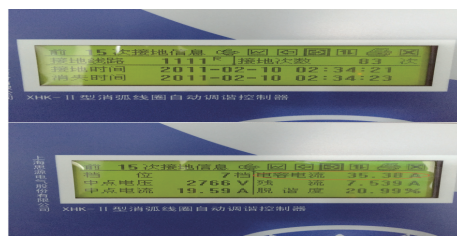


图5 2011年2月10日单相接地故障装置记录表

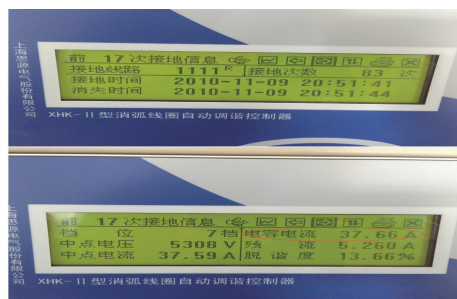


图6 2010年11月9日单相接地故障装置记录表

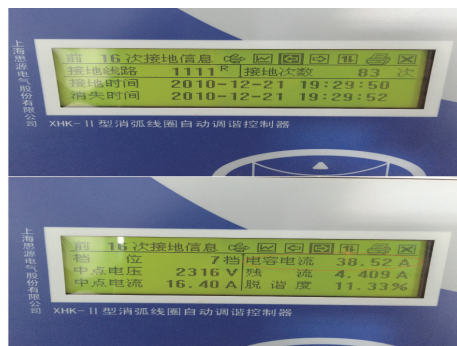


图7 2010年12月21日单相接地故障装置记录表

网的电容电流。

图8为金新化工供用电系统2010年12月31日8:49:22发生单相接地故障录波记录, 图8中可以看出A相发生单相接地, 10 kV的 $3I_0$ 为4.2 A; 相对应的是图7消弧线圈自动调谐控制器记录的实际值4.409 A。两个装置的测量值是非常接近的。

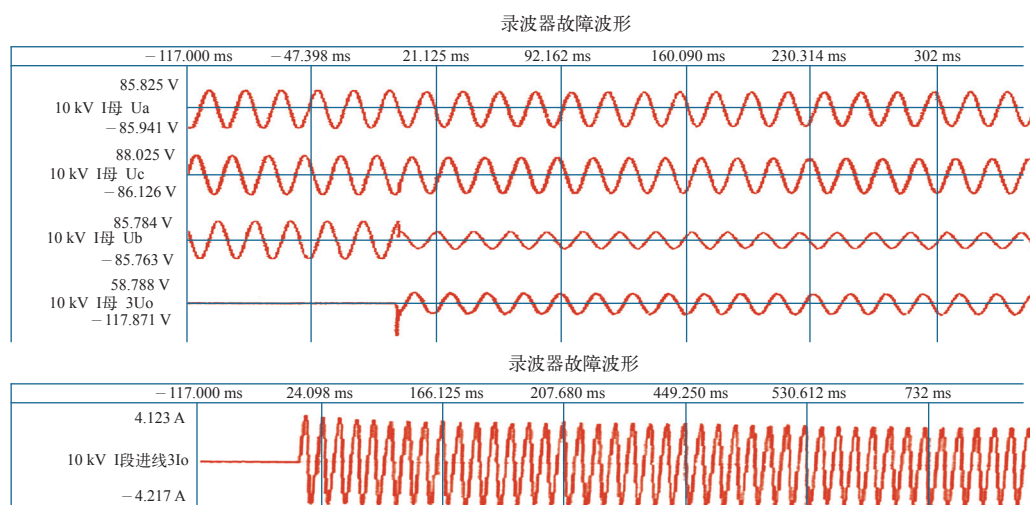


图8 2010年12月21日故障录波图像

历次单相接地故障记录统计表如表2所示。

表2 历次单相接地故障记录统计表

序号	故障时间	故障电容电流 /A	补偿后的残流 /A	脱谐度	档位
1	2010年11月9日	37.66	5.36	0.19	7
2	2010年12月21日	38.52	4.41	0.123 9	7
3	2011年2月10日	35.38	7.539	0.209 9	7
4	2011年7月2日	35.99	6.948	0.18	7

2.4 电动机磁平衡差动的整定值

因此当电动机内部绕组单相接地短路时产生的短路电流也将被消弧线圈补偿到只剩下5 A左右, 为保证磁平衡差动保护的灵敏性, 应按小于5 A来整定。综合考虑差流TA的误差及微机综合保护装置的通道及调整误差, 可靠系数取1.25, 一次值为4 A, 即

$$I_{dc} = I_{\Sigma c} / (n_{TA} K_{rel}) = [5 / (50 \times 1.25)] A = 0.08 A \quad (6)$$

式中, I_{dz} 为磁平衡差动保护的二次整定值, $I_{\Sigma c}$ 为同步电动机内部绕组单相接地时, 接地短路电容电流被消弧线圈补偿后的残流, 取5 A; K_{rel} 为可靠系数; n_{TA} 为磁平衡差流TA电流比 (50/1)。

3 结束语

本文针对金新化工10 kV系统, 阐述了甲烷转化同步电动机磁平衡差动保护的整定计算与系统的接地方式之间的联系。磁平衡差流TA避免了因电动机起动或外部故障造成TA饱和而引起的差流,

其安装于电动机的进出线处, 保护范围只有电动机本体内部故障且不含绕组匝间短路, 需要电源开关柜内TA信号引入保护装置, 作为开关柜至电动机之间电缆的主保护及电动机本体后备保护的判据。

在经消弧线圈接地的系统中, 电动机定子绕组单相接地时, 故障相差动保护TA回路中产生的差流就是全系统单相接地电容电流经消弧线圈补偿后的残流。这也加大了电动机内部绕组单相接地短路时的判断难度。

电动机磁平衡差动保护TA电流比应根据所在配电系统单相接地时的实际电容电流来选择。中性点经消弧线圈接地的配电系统因残流控制在10 A以下, 所以选择电流比倍数更小的TA较为合适。

参考文献

- [1] 王士政. 电力系统继电保护原理应用 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2010.
- [2] 李斌. 电动机磁平衡式差动保护的整定计算 [J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38 (11).
- [3] 韩天行. 继电保护及自动化装置检验手册 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2010.
- [4] 平邵勋, 周玉芳. 电力系统中性点接地方式及运行分析 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2010.
- [5] 李玉海, 李鹏. 电力系统主设备继电保护试验 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2013.

(收稿日期: 2016-02-29) EA