

有色冶炼企业余热发电机组的继电保护配置及整定计算实例

卞海林

(中国恩菲工程技术有限公司, 北京 100038)

[摘要] 有色冶炼企业余热发电机组不仅是余热回收, 节能减排的重要设备, 也是厂区内电力系统的重要设备, 其保护配置和整定计算是否合理, 不仅关系到设备自身的安全稳定运行, 还关系到全厂的安全稳定生产。

[关键词] 余热发电机组; 继电保护; 整定计算

[中图分类号] TF821 **[文献标志码]** B **[文章编号]** 1003-8884(2021)05-0033-04

DOI: 10.19611/j.cnki.cn11-2919/tg.2021.05.008

1 汽轮发电机故障和不正常工作状态及相应的保护配置

有色冶炼企业内的余热发电汽轮发电机有别于电网内的火电厂汽轮发电机, 有自身的特点。它通过余热锅炉将生产过程中的废热转化为蒸汽进行发电, 蒸汽量的大小受冶炼规模的限值, 且随冶炼过程波动变化。余热发电机组容量一般不会很大, 基本为 50 MW 以下的小型汽轮发电机组; 另外余热发电均为中压侧直接并网, 所发电量厂内直接消耗, 不需要升压变压器。其继电保护配置必须根据自身的特点来合理配置。

根据《继电保护和安全自动装置技术规程》GB/T 14285—2006 的规定, 继电保护的设计应以合理的运行方式和可能的故障类型为依据, 并应满足可靠性、选择性、灵敏性和速动性四项基本要求。

1.1 余热发电的汽轮发电机可能发生的故障及相对应的保护配置

1.1.1 发电机定子绕组相间短路

定子绕组相间短路会产生很大的短路电流, 严

重损坏发电机。因此, 应装设纵联差动保护, 动作于发电机停机。

1.1.2 发电机定子绕组匝间短路

定子绕组匝间短路会产生很大的环流, 引起故障处温度升高, 使绝缘老化, 甚至击穿绝缘, 发展成单相接地或相间短路, 扩大发电机事故。因此, 应装设横联差动保护, 动作于发电机停机。

1.1.3 发电机定子绕组单相接地

发电机单相接地后, 其电容电流流过故障点铁芯, 当电容电流较大或持续时间较长时, 会使铁芯熔化损坏。因此, 应装设定子绕组接地保护, 动作于发信号报警。

1.1.4 转子一点接地, 转子两点接地

转子一点接地由于没有构成通路, 对发电机没有直接危害, 因此应装设转子一点接地保护, 保护动作于信号报警。如转子再发生另一点接地, 就会造成转子两点接地, 则转子绕组一部分被短接, 这样不但会烧毁转子绕组, 而且由于部分绕组短接后破坏磁路对称性, 造成磁势不平衡而引起机组剧烈振动。因此应装设转子两点接地保护。当转子一点接地稳定后投入转子两点接地保护压板, 转子两点接地保护动作于停机。

1.1.5 发电机失磁

发电机由于转子绕组断线、励磁回路故障或灭磁开关误动等原因, 将造成转子失磁, 失磁故障不仅对发电机造成危害, 而且吸收电力系统大量无功, 严重影响系统安全, 因此应装设失磁保护, 动作于跳闸。

[收稿日期] 2021-05-19

[作者简介] 卞海林(1983-), 男, 湖北枝江人, 高级工程师, 大学本科, 主要从事有色冶炼工程的供配电和传动控制等电气设计工作, 现任中国恩菲工程技术有限公司冶金化工事业部电气室副主任。

[引用格式] 卞海林. 有色冶炼企业余热发电机组的继电保护配置及整定计算实例[J]. 有色设备, 2021, 35(5): 33-36.

1.2 汽轮发电机的不正常工作状态及相应的保护配置

(1) 由于外部短路、非周期合闸以及系统振荡等原因引起发电机过电流,应装设复合电压闭锁过电流保护、负序过电流保护,作为外部短路和内部短路的后备保护,动作于停机。

(2) 由于负荷超过发电机额定值引起发电机对称过负荷,应装设过负荷保护,动作于发信号报警。对于负序电流超过发电机长期允许值所造成的不对称过负荷,应装设负序过负荷保护,动作于发信号报警。

(3) 在突然甩负荷时,因其发电机励磁调节过程比较缓慢,转速急剧上升而引起过电压。因此应装设过电压保护,动作于停机。

(4) 当汽轮发电机主汽门突然关闭而发电机断路器未断开时,发电机从系统吸收有功而过渡到同步电动机运行状态,对汽轮机叶片尤其是尾叶造成过热损伤等。因此应装设逆功率保护,动作于停机。

(5) 汽轮机叶片有自己的自振频率,并网运行的发电机,当系统频率异常时,汽轮机叶片可能产生共振,从而使叶片发生疲劳,长久下去可能损坏汽轮机的叶片。因此应装设频率保护,动作于停机。

2 工程实例

下文通过工程实例,对余热发电机组的保护整定计算加以说明。

某有色冶炼厂设有一个余热发电站,安装有一台容量为 7 500 kW 的某进口余热发电机组,定子绕组为单星型。该电站通过一路并联网络线与附近的 10 kV 配电站并网。该站内 10 kV 母线的最大运行方式下的短路电流为 11.8 kA,最小运行方式下的短路电流为 10.9 kA。系统主接线如下:

短路电流采用标幺值法计算,基准电压 $U_B = 10.5$ kV;基准容量 $S_B = 100$ MVA;基准电流 $I_B = 5.5$ kA。

2.1 继电保护配置

针对故障类型以及不平衡运行状态,发电机自身参数等等,应装设一下继电保护装置:

(1) 由于发电机的功率为 7.5 MW,所以应装设纵差保护。

(2) 容量小于 50 MW 的发电机定子绕组单相接地故障电流允许值为 4 A,装设接地保护装置。

(3) 虽然定子绕组为星形接线,但每相没有并联分支,故不装设横差保护。

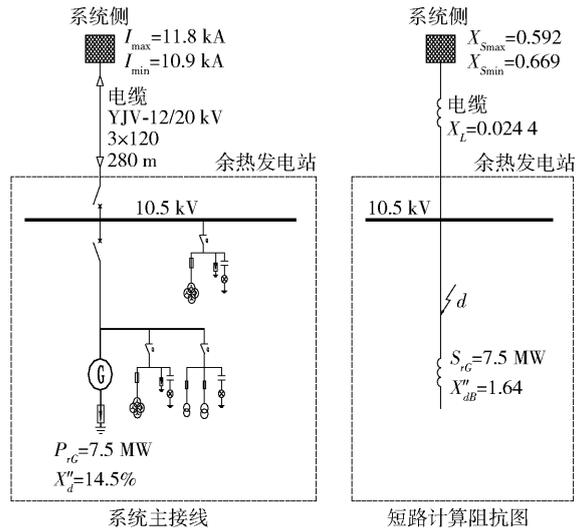


图 1 系统主接线

- (4) 复合电压启动的过电流保护。
- (5) 带延时的过电压保护。
- (6) 失磁保护。
- (7) 发电机频率保护。
- (8) 逆功率保护。

2.2 继电保护整定

2.2.1 相关参数准备

- 发电机额定电流 $I_{ef} = 485$ A;
- 发电机额定电压 $U_{ef} = 10.5$ kV;
- 发电机额定视在功率: $S = 8\ 825$ kVA;
- 电流互感器变比: $n_l = 500/1 = 500$;
- 电压互感器变比: $n_y = 10\ 500/100 = 105$;
- 零序电流互感器变比: $n_0 = 60/1 = 60$;
- 最小运行方式下系统电抗: $X_S = 0.73$;
- 发电机同步电抗: $X_d = 2.2$;
- 发电机暂态电抗: $X'_d = 20\%$;
- 发电机次暂态电抗: $X''_d = 14.5\%$;
- 发电机负序电抗: $X_{(2)} = 17.5\%$;
- 发电机零序电抗: $X_{(0)} = 7.5\%$;
- 发电机正序电抗标幺值: $X''_{dB} = \frac{14.5}{100} \times \frac{100}{8.825} =$

1.64。

最小运行方式下:发电机出口三相短路流过保护装置的最小短路电流:

$$I_{dmin}^{(3)} = I_B / X''_{dB} = 5.5 / 1.64 = 3.35 \text{ kA}$$

2.2.2 保护整定计算

虽然不同微机保护厂家的保护配置和保护原理

上有些许差别,但大体上是相同的,其保护的整定计算也基本类似。

2.2.2.1 主保护整定

比例制动式纵联差动保护:

发电机比例制动式纵联差动保护的基本原理是比较发电机两侧的电流的大小和相位,反映发电机定子绕组及其引出线的相间短路,是发电机的主要保护。在微机保护装置中广泛采用比率差动保护。比率差动保护的作用原理是它的动作电流随着外部故障的短路电流的增大而自动增大,而且动作电流的增大比不平衡电流增大的更快,使其在任何情况下的外部故障时保护不会误动作。将外部故障的短路电流作为制动电流,把流入差动回路的电流作为动作电流,如动作电流大于制动电流,则保护动作;反之保护不动作。

①保护装置最小动作电流(按躲过最大负荷条件下差回路的不平衡电流整定):

$$I_{opmin} = K_K I_{bp} = K_K K_{fzq} K_{lx} f_i I_{e.f} / n_l = 1.5 \times 1.0 \times 0.5 \times 0.1 \times 485 / 500 = 0.073 \text{ A};$$

式中 K_K —可靠系数,一般取 1.3~1.5;

K_{fzq} —非周期分量影响系数,一般取 1.0;

K_{lx} —电流互感器的同型系数,取 0.5;

f_i —电流互感器的最大相对误差,取 0.1;

$I_{e.f}$ —发电机的一次额定电流;

n_l —电流互感器变比。

实际上最小动作电流的确定还要根据选定的制动系数和继电器的固有动作电流来确定。

运行中的设备可由实测决定,但不能小于继电器的固有动作电流,规程规定具有比率制动的发电机差动保护 $I_{opmin} = 0.1 \sim 0.3 I_{ef}$,一般取 $0.2 I_{ef}$ 。

$$I_{opmin} = 0.2 I_{e.f} / n_l = 0.2 \times 485 / 500 = 0.194 \text{ A}, \text{取 } I_{opmin} = 0.2 \text{ A}.$$

②比率制动拐点的整定

在负荷电流下,CT 误差很小,不平衡电流也很小,因此即使无制动电流也不会误动,则拐点应取 $(0.8 \sim 1) I_{2ef}$,考虑一定的可靠性取 $I_{res} = 0.8 I_{2ef} = 0.8 \times 485 / 500 = 0.78 \text{ A}$ 。

③比例制动系数: $K_s = K_K K_{fzq} K_{lx} f_i = (1.3 \sim 1.5) \times 1 \times 0.5 \times 0.1 = 0.065 \sim 0.075$ 。

考虑到实际应用中电流互感器的饱和或 TA 暂态特性的不一致,同时为了防止外部短路误动作,适当提高差动保护动作特性折线斜率,推荐 K_s 取

0.3~0.5,兼顾到灵敏度的要求,一般取较小值,即 $K_s = 0.3$ 。

④灵敏度校验

$$K_{sen} = I_{dmin}^{(2)} / I_{dz} = I_{dmin}^{(2)} / (K_s (0.5 I_{dmin}^{(2)} - I_{res}) + I_{opmin}) = 0.866 \times 3350 / (0.3 \times (0.5 \times 0.866 \times 3350 - 0.8 \times 485) + 0.2 \times 485) = 7.0 > 2$$

式中 $I_{dmin}^{(2)}$ —发电机出口金属性两相短路时流进保护安装处的最小短路电流;

I_{dz} —对应于所校验继电器的动作电流;

K_s —比例制动系数。

2.2.2.2 后备保护整定

(1)复合电压起动的过电流保护

发电机相间短路保护通常反应出过电流,为了区别正常过负荷还是内部故障事故过电流,过电流保护通常需要加装低压元件来作为判别用,即复合电压闭锁过电流保护。

①保护装置动作电流

$$I_{dzj} = K_K I_{ef} / K_h n_l = 1.2 \times 485 / (0.95 \times 500) = 1.2 \text{ A}$$

式中 K_K —可靠系数,一般取 1.2;

K_h —返回系数,一般取 0.95;

I_{ef} —发电机的一次额定电流;

n_l —电流互感器变比。

②负序电压元件(按躲过正常运行时的不平衡电压整定)

$$U_{dz2} = 0.06 U_{2e} = 0.06 \times 100 = 6 \text{ V}$$

式中 U_{2e} —额定电压二次值;

③相间低电压元件(按躲过电动机自启动或发电机失磁而出现非同步运行方式时的最低电压定值整定)

$$U_{dzj} = (0.5 \sim 0.6) U_{2e} = (0.5 \sim 0.6) \times 100 = 50 \sim 60 \text{ V}, \text{取 } 60 \text{ V}.$$

式中 U_{2e} —额定电压二次值。

(2)定时限过负荷保护

保护装置动作电流(对称过负荷按发电机长期允许的负荷电流条件下能可靠返回的条件来整定):

$$I_{dzj} = K_K I_{ef} / K_h n_l = 1.05 \times 485 / (0.95 \times 500) = 1.1 \text{ A}$$

式中 K_K —可靠系数,一般取 1.05;

K_h —返回系数,一般取 0.95;

I_{ef} —发电机的一次额定电流。

n_l —电流互感器变比。

(3)负序过流保护

发电机由于负荷不平衡或外部不对称短路而产

生的负序电流,将在转子上产生附加损失和额外温升。如不及时处理,就可能严重损坏发电机,因此应装设负序过电流保护。

负序过流按躲过发电机长期允许的负序电流值和躲过最大负荷下负序电流滤过器的不平衡电流整定:

$$I_{d22} = 0.1 I_{ef} / n_l = 0.1 \times 485 / 500 = 0.097 \text{ A}$$

式中 I_{ef} —发电机的一次额定电流;

n_l —电流互感器变比。

延时 1 s。

2.2.2.3 零序电流保护

按规程规定,50 MW 以下发电机组允许的接地电流值为 4 A,根据零序 CT 给的参数,将 4 A 换算成二次值,乘以 1.1 倍可靠系数即可。

$$\text{即: } I_{d20} = 1.1 \times 4 / 60 = 0.073 \text{ A}$$

2.2.2.4 过电压保护

保护动作电压整定值:

$$U_{dz} = 1.3 U_{2e} = 1.3 \times 100 = 130 \text{ V}$$

式中 U_{2e} —额定电压二次值;

保护动作延时,一般取 0.5 s。

2.2.2.5 低电压保护

保护动作电压整定值: $U_{dz} = (0.7 \sim 0.8) U_{2e} = (0.7 \sim 0.8) \times 100 = 70 \sim 80 \text{ V}$ 。

建议取 80 V。

2.2.2.6 失磁保护

(1) 阻抗元件整定

本公司保护为异步边界阻抗判据,采用下式:

$$X_a = - (1/2) X'_d \times (U_e^2 / S_e) \times (n_l / n_y) = -0.5 \times \left(\frac{20}{100} \right) \times (10.5^2 / 8.825) \times (500 / 105) = -5.95$$

$$X_b = -K_k \times X_d \times (U_e^2 / S_e) \times (n_l / n_y) = -1.2 \times 2.2 \times \frac{10.5^2}{8.825} \times \frac{500}{105} = -157$$

式中 S_e —发电机额定容量;

U_e —发电机额定电压;

n_l —发电机 CT 变比;

n_y —发电机 PT 变比;

K_k —可靠系数,取 1.2;

X'_d —发电机暂态电抗;

X_d —发电机同步电抗。

延时一般取 0.5 ~ 1 s 用以躲开系统振荡误动。

(2) 低电压元件整定: $U_{dz} = (0.7 \sim 0.8) U_{2e} =$

$(0.7 \sim 0.8) \times 100 = 70 \sim 80 \text{ V}$, 建议取 80 V。

(3) 负序电压元件整定值: $U_{dz} = (0.05 \sim 0.06) U_{2e} = (0.05 \sim 0.06) \times 100 = 5 \sim 6 \text{ V}$, 建议取 6 V。

2.2.2.7 接地保护

(1) 转子一点接地

余热发电机为空冷的发电机组,高定值一般取 10 ~ 30 k Ω ,低定值一般取 0.5 ~ 2.5 k Ω ;动作时限取 5 ~ 10 s。

(2) 转子两点接地

接地位置变化 Δa (%) 一般取 10% 左右,根据不同发电机做相应调整,延时尽量短,为躲过瞬时接地引起的两点接地现象,应考虑短延时,一般取 1 s 左右。

(3) 定子一点接地(基波零序电压)

一般取 15 ~ 25 V,本例取 20 V,延时 1 s。

2.2.2.8 频率积累保护

整定如下:48.0 Hz - 累计运行时间不低于 2 h,47.5 Hz - 累计运行时间不低于 1 h,50.5 ~ 51.0 Hz - 累计运行时间不低于 180 min,51.0 ~ 51.5 Hz - 累计运行时间不低于 30 min。

2.2.2.9 逆功率保护

(1) 逆功率保护动作功率整定

建议一般按 1% 的额定有功整定,故取 $P_{op} = 0.01 \times 7500 = 75 \text{ kW}$ 。

(2) 延时整定

逆功率保护,不经主气门触点闭锁,延时 15 s 动作于信号,延时 60 s 动作于解列。

3 结束语

随着有色冶炼厂余热发电项目的投产,发电机已经成为其内部电网的重要组成部分。本文通过分析发电机可能发生的故障和不正常工作状态,提出相应继电保护方案、整定计算原则及实例计算,对类似发电机的保护整定具有一定的参考借鉴作用。

[参考文献]

- [1] 能源部西北电力设计院. 电力工程电气设计手册(电气二次部分)[M]. 北京:中国电力出版社,2003.
- [2] 许正亚. 发电厂继电保护整定技算及其运行技术[M]. 北京:中国水利水电出版社,2009.
- [3] GB/T 14285—2006,继电保护和安全自动装置技术规程[S].
- [4] GB/T 50062—2008,电力装置的继电保护和自动装置设计规范[S].

(下转第 51 页)

[参考文献]

社,2017.

[1] 陈玉凡,朱祥. 电铲机械设计[M]. 北京:机械工业出版社

Research and Application of Repair and Maintenance Operation Standards for Mining Excavator

WANG Jin-yan, HE Tie-niu

Abstract: This paper elaborates on the authors' research and application of on-site repair and maintenance operation standards for mining excavators in recent years, analyzes the importance of maintenance operations, studies the variances between theories and standards of on-site repair and maintenance operation for the excavators under various conditions and summarizes key procedures of operation standards. These research results have extended the service life of key components of mining excavators, solved technical problems of frequent breakdowns and prevented personal injury accidents in excavator repair and maintenance and thereby safeguarded safe, efficient and stable maintenance operation of excavator repair and maintenance, which bring good economic benefits and will be promoted in TISCO mines.

Key words: Status quo of mining excavators; development and study on excavator repair and maintenance standards; preventive measures ▲

.....

(上接第 36 页)

The Relay Protection Configuration and Setting Calculation Examples of Waste Heat Power Generation Unit in Non-ferrous Metallurgical Enterprises

BIAN Hai-lin

Abstract: Waste heat generator set for non-ferrous smelting enterprise is not only an important equipment for waste heat recovery, energy saving and emission reduction, but also an important equipment for the power system in the plant. Therefore, the reasonable protection configuration and setting calculation is not only a matter of safe and stable operation of the equipment itself, but also impacts the safe and stable production of the whole plant.

Key words: Waste heat power generation unit; relay protection; setting calculation ▲