

余热发电站的继电保护配置及整定计算

顾大为

(中国恩菲工程技术有限公司,北京 100038)

[摘要] 有色冶炼厂的余热发电以余热发电机组为核心,利用余热锅炉排出的高温蒸汽,驱动汽轮发电机组,将发出的电直接并入厂内电网,实现资源的二次利用,产生直接经济效益。余热发电厂其保护配置和整定计算是否合理,关系到设备自身的安全稳定运行和全厂的安全稳定生产。本文以有色冶炼厂的余热发电站为例说明余热发电站的继电保护计算。

[关键词] 余热发电;继电保护;整定计算

[中图分类号] P271; TU271.1

[文献标志码] B

[文章编号] 1003-8884(2022)06-0088-05

DOI: 10.19611/j.cnki.cn11-2919/tg.2022.06.015

0 引言

综合继电保护是在生产运行过程中迅速切除系统内的各种故障,保证设备安全供电。继电保护配置及整定计算是非常关键的工作,正确计算能得到合理的配置结果,进而保障参数整定的有效性,并确保综合保护安全有效。

按照 GB/T 14285—2006《继电保护和安全自动装置技术规程》的规定,综合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,且必须满足可靠性、速动性、灵敏性和选择性四项基本要求。

1 总体介绍

本文以河南某有色冶炼厂为例,说明余热发电站的继电保护设计过程以及需要注意的问题。新建的余热发电站位于原冶炼厂区内,充分利用已有冶炼厂产生的饱和蒸汽进行发电。饱和蒸汽来自于火法熔炼区的三台余热锅炉,汇总后进入汽轮机。发电送到上级 110 kV 变电站,供给冶炼厂生产用电。

2 工程设计

本子项的继电保护配置及整定计算工作主要分为发电机、变压器和线路三个部分,现分别对三部分逐一介绍。目前已知条件:

发电机:发电机额定功率为 6.62 MW,发电机视在功率:8.275 MVA,发电机额定出口电压:10.5 kV,额定电流:455 A,电流互感器变比 $500/1 = 500$,发电机直轴超瞬变电抗 X_d'' (标么值) = 19.63% (计算正序 X_1)。

变压器:变压器额定容量:630 kVA,变压器标么值 $X^* = 4/0.63 = 6.349$ 。

系统:系统基准电压 10.5 kV,基准容量:100 MVA。

余热发电厂高压一次:设置 10 kV 段,发电机出口经断路器柜连接至 10 kV 段,联络柜出口连接至上级 110 kV 站,送至厂区冶炼厂用电负荷。

联络线(站内 10 kV 柜至 110 kV 站)为中间架空线,2 端铝芯电缆,其中型号和长度分别为:

架空线(单相,共三相):JKLY-10kV-2×240, 460 m,电抗值为 0.32 Ω/km;

电缆线(单相,共三相):YJLV-8.7/10kV-2×3×240,120 m,电抗值为 0.087 Ω/km;

经查阅 110 kV 站数据得知:

110 kV 站 10 kV 段母线最大三相短路电流有效值 20 kA,短路容量 $S = 1.732 \times 10.5 \times 20 = 363.72$ MVA;

[收稿日期] 2022-03-29

[作者简介] 顾大为(1986—),男,山东烟台人,高级工程师,硕士,主要从事市政工程、冶炼工程的供配电设计工作。

[引用格式] 顾大为. 余热发电站的继电保护配置及整定计算[J]. 有色设备,2022,36(6):88-92.

110 kV 站 10 kV 段母线最小三相短路电流有效值 11.18 kA, 短路容量 $S = 1.732 \times 10.5 \times 11.18 = 203.32 \text{ MVA}$;

经计算:

发电机出口母线最大短路电流 $I_k' = 14.341$

kA, 短路容量 $S_{\max} = 260.8 \text{ MVA}$;

发电机出口母线最小短路电流 $I_k' = 9.682 \text{ kA}$,

短路容量 $S_{\min} = 176.1 \text{ MVA}$;

余热发电厂高压一次如图 1 所示。

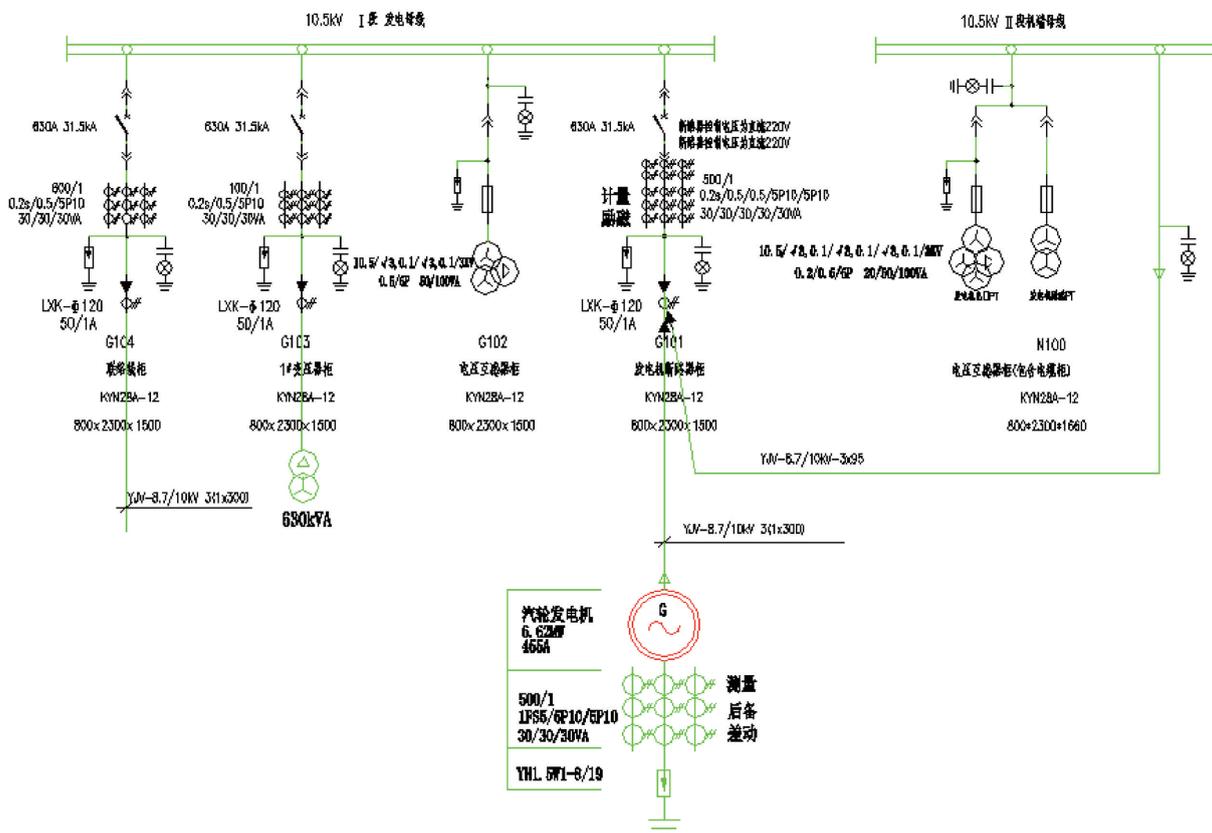


图 1 余热发电厂高压一次

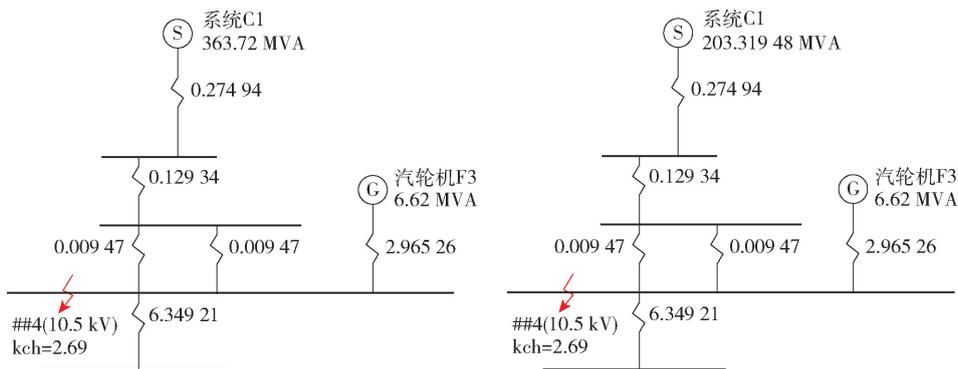


图 2 最大运行方式下和最小运行方式下的等值阻抗图

2.1 发电机部分

余热发电的汽轮发电机有别于电网内的火电厂的汽轮发电机,有其自身的特点。它是通过余热锅炉将生产过程中的废热转化为蒸汽进行发电,这种特点决定了余热发电机组容量都不会很大,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,所以不需要升压变压器。其继电保护配置必须根据自身的特点来合理配置。

2.1.1 余热发电的汽轮发电机的故障类型

(1)发电机定子绕组相间短路;(2)发电机定子绕组匝间短路;(3)发电机定子绕组单相接地;(4)转子一点接地,转子两点接地;(5)发电机失磁。

2.1.2 汽轮发电机的异常工作状态

(1)外部短路、非周期合闸以及系统振荡等原因引起过电流。(2)由于负荷超过发电机额定值引起发电机对称过负荷。(3)在突然甩负荷时,引起过电压。(4)发电机主汽门异常关闭而发电机出口断路器未断开时,发电机触发逆功率。(5)汽轮机叶片有自己的自振频率异常。

2.1.3 发电机比例制动式纵联差动保护的整定计算

(1)最小动作电流(按躲过最大负荷条件下差回路的平衡电流整定)

$$I_{opmin} = K_K I_{bp} = K_K K_{fzq} K_{tx} f_i I_{e.f} / n_l =$$

$$1.3 \times 1.0 \times 0.5 \times 0.1 \times 455 / 500 = 0.05915 \text{ A}$$

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_{tx} —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。

(2)比例制动系数

$$K_s = K_K K_{fzq} K_{tx} f_i = (1.3 \sim 1.5) \times 1 \times 0.5 \times 0.1 = 0.065 \sim 0.075$$

考虑实际应用中,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 $K_s = 0.065$ 。

(3)差动启动值: $I_q = 0.2 \times 455 = 91 \text{ A}$;

(4)最大动作电流: $I_d = 0.03Ik = 0.03 \times 14.341 \text{ kA} = 430.23 \text{ A}$;

(5)差动速断电流: $I_s = 4 \times 455 = 1820 \text{ A}$ 。

2.1.4 复合电压起动过电流保护的整定计算

(1)保护装置动作电流:

$$I_{dij} = K_K I_{ef} / K_h n_l = 1.2 \times 455 / (0.85 \times 500) = 1.3 \text{ A}$$

式中 K_K —可靠系数,一般取1.2;

K_h —返回系数,一般取0.85;

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)

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

式中 U_{2e} —额定二次电压。

(3)相间低电压元件

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

式中 U_{2e} —额定电压二次值。

(4)负序电流保护(表面冷却式发电机)

$$Idz2 = (0.5 \sim 0.6) \times 455 = (227.5 \sim 273) \text{ A}$$

2.1.5 定子绕组过负荷保护的整定计算

(1)定时限对称过负荷保护动作电流

$$I_{dij} = K_K I_{ef} / K_h n_l = 1.05 \times 455 / (0.85 \times 500) = 1.12 \text{ A}$$

式中 K_K —可靠系数,一般取1.05;

K_h —返回系数,一般取0.85;

I_{ef} —发电机的一次额定电流;

n_l —电流互感器变比。

时限 $t = 9 \text{ s}$ 。

(2)定时限负序过负荷保护动作电流

保护动作电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吕国旗的不平衡电流值整定:

$$I_{dij} = 0.1xI_{ef} = 0.1 \times 455 = 45.5 \text{ A}$$

式中 I_{ef} —发电机的一次额定电流。

2.1.6 发电机保护的整定计算

整定如下:

欠压:88%发电机一次额定电压,偏差2%—累计运行时间不低于1.0s;

过压:112%发电机一次额定电压,偏差2%—累计运行时间不低于1.0s。

2.1.7 发电机频率的整定计算

整定如下:

欠频:47.5 Hz,偏差0.2—累计运行时间不低于1.0s;

过频:51.5 Hz,偏差0.2 - 累计运行时间不低于0.7 s。

2.2 变压器部分

经计算:

变压器低压侧最大短路电流 $I_{k'} = 22.79 \text{ kA}$;

变压器低压侧最小短路电流 $I_{k'} = 21.76 \text{ kA}$ 。

2.2.1 变压器过负荷保护整定计算

过负荷保护(应躲过变压器额定电流):

$$I_{opk} = K_{jx} I_{e.f} / K_r n_l = 1.05 \times 34.6 / 0.85 \times 100 = 4.27 \text{ A};$$

式中 K_{jx} —可靠系数,一般取1.05;

K_r —继电器返回系数,一般取0.85;

$I_{e.f}$ —变压器的一次额定电流;

n_l —电流互感器变比。

2.2.2 不带低电压起动的过电流保护

a. 躲过电动机自起动的最大工作电流:

$$I_{dz} = K_{jx} \times K_{zq} \times I_{e.f} / K_r \times n_l = 1.2 \times 2.5 \times 34.6 / 0.85 \times 100 = 12.23 \text{ A}$$

式中 K_{jx} —可靠系数,一般取1.2;

K_{zq} —自起动系数,6~10 kV 侧一般取1.5~2.5,本次计算取2.5;

K_r —继电器返回系数,一般取0.85;

I_{fh} —最大的负荷电流;

n_l —电流互感器变比。

2.2.3 复合电压起动过电流保护的整定计算

(1) 保护装置动作电流

$$I_{dsj} = K_K \times I_{ef} / K_h n_l = 1.2 \times 34.6 / (0.85 \times 100) = 4.885 \text{ A}$$

式中 K_K —可靠系数,一般取1.2;

K_h —返回系数,一般取0.85;

I_{ef} —变压器的一次额定电流;

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)

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

式中 U_{2e} —额定电压二次值。

(3) 相间低电压元件

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

式中 U_{2e} —额定电压二次值。

2.2.4 过电流保护

保护装置的動作电流:

$$I_{dz} = K_{rel} \times K_{jx} \times K_{gh} \times I_{e.f} / K_r \times n_l = 1.2 \times 1 \times 1.3 \times$$

$$34.6 / 0.85 \times 100 = 0.635 \text{ A}$$

式中 K_{rel} —可靠系数,一般取1.2;

K_{jx} —接线系数,接于相电流时一般取1.0;

K_{zq} —自起动系数,无自起动电动机一般取1.3~1.5,本次计算取1.3;

K_r —继电器返回系数,一般取0.85;

I_{fh} —变压器高压侧额定电流;

n_l —电流互感器变比。

时限设置为0.7 s。

2.2.5 电流速断保护

保护装置的動作电流

$$I_{op.k} = K_{rel} \times K_{jx} \times I_{2k3max} / n_l = 1.3 \times 1 \times 22.79 \times 1000 / 100 = 11.85 \text{ A}$$

式中 K_{rel} —可靠系数,一般取1.2;

K_{jx} —接线系数,接于相电流时一般取1.0;

I_{2k3max} —最大运行方式下变压器低压侧三相短路时,流过高压侧(保护安装处)的超瞬态电流;

I_{fh} —变压器高压侧额定电流;

n_l —电流互感器变比。

时限设置为0.05 s。

2.3 线路部分

2.3.1 过电流保护

保护装置的動作电流

$$I_{dz} = K_{rel} \times K_{jx} \times K_{gh} \times I_{gh} / K_r \times n_l = 1.2 \times 1 \times 1.3 \times 455 / 0.85 \times 600 = 3.212 \text{ A}$$

式中 K_{rel} —可靠系数,一般取1.2;

K_{jx} —接线系数,接于相电流时一般取1.0;

K_r —继电器返回系数,一般取0.85;

I_{gh} —线路(发电机)出口最大电流;

n_l —电流互感器变比。

2.3.2 电流速断保护

保护装置的動作电流

$$I_{op.k} = K_{rel} \times K_{jx} \times I_{2k3max} / n_l = 1.2 \times 1 \times 14.341 \times 1000 / 600 = 28.682 \text{ A}$$

式中 K_{rel} —可靠系数,一般取1.2;

K_{jx} —接线系数,接于相电流时一般取1.0;

I_{2k3max} —最大运行方式下,线路末端三相短路超瞬态电流;

n_l —电流互感器变比。

2.3.3 差动速断电流

差动速断电流: $8I_n / n_l = 8 \times 455 / 600 = 6.07 \text{ A}$

差动启动电流: $0.4I_n/n_l = 0.4 \times 455/600 = 0.30 \text{ A}$

3 结语

该余热发电厂已经正常运行,一切工艺指标正常,达到设计要求,发电机已经成为其内部电网的重要组成部分。余热发电站的继电保护配置及整定计算复杂繁琐,遇到具体问题应结合实际情况具体分析,以上叙述的希望能给予其他电气设计工作者一些工作上的启发,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] 水利电力西北电力设计院. 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,1989.
- [2] 《钢铁企业电力设计手册》编委会. 钢铁企业电力设计手册(下册)[M]. 北京:冶金工业出版社,1996.
- [3] 《中国电力百科全书》编辑委员会. 中国电力百科全书(第三版)[M]. 北京:中国电力出版社,2014.

Protective Relay Configuration and Setting Calculation of Waste Heat Power Plant

GU Da-wei

Abstract: With the waste heat power generator set at the core, non-ferrous refineries use the high-temperature steam discharged from the waste heat boiler to drive the turbine generator set for power generation. The generated electricity is directly transmitted to the power grid in the refinery, achieving the reuse of resources and producing direct economic benefits. Correct protective relay configuration and setting calculation are vital to the safe and stable operation of the equipment as well as the whole refinery. This paper takes the waste heat power plant of non-ferrous refineries as an example to illustrate the protective relay calculation of waste heat power plants.

Key words: power generation from waste heat; protective relay; setting calculation



(上接第 87 页)

Adjustable Section Design and Application of Special Material Pipelines

BIAN Chao, FENG Zhi-qiang

Abstract: 3D design has brought great convenience to industrial engineering and has made a great contribution to project cost control. This paper takes a copper mine in Africa as an example and introduces in detail the optimization method for the design of special material pipelines, that is, the design of the adjustable section. This method promoted in the paper is beneficial to project execution to a certain extent, and reduces design, procurement, manufacturing, and construction costs.

Key words: beneficiation; pipeline; adjustable section

