

WFB-100 微机保护在秦山第二核电厂的应用

查卫华, 王建成, 李德佳

(核电秦山联营有限公司, 浙江 海盐 314300)

摘要: 秦山第二核电厂是我国自行设计、自行建设、自行管理、自行运营的第一座2×650MW商用核电机组, 其发电机—变压器组(以下简称发变组)保护采用许继公司开发的WFB-100型保护装置。本文从大型核电机组对发变组保护配置的要求出发, 就秦山第二核电厂发变组保护的配置的特点、相关逻辑及调试问题作出分析, 以供参考。

关键词: 发变组保护; 保护配置; 核电厂

中图分类号: TM623 **文献标识码:** B **文章编号:** 1003-4897(2003)06-0073-05

1 前言

秦山第二核电厂采用的是许继公司开发设计的发变组保护, 具有设备可靠、抗干扰性能好的特点。保护装置是采用微机型。保护按照双重化配置, 出口及电源部分相互独立、互不干扰。除常规的差动、失磁、负序反时限过流、定子接地保护外, 还有为大型机组专门设置的失步、低频累加、过励磁、逆功率

和阻抗保护。因秦山第二核电厂的发电机组配有出口带断路器, 所以发变组保护配置与常规火电机组相比有新的特点。

2 保护配置

按照文献[1], 秦山第二核电厂发变组保护配置如表1。

表1 秦山第二核电厂发变组保护配置

Tab.1 Configuration of the generator transformer protection in Qinshan nuclear power station

保护名称 (输入信号)	全停 K186	全停 (不失灵) K286	跳发电机 出口断路器 K386	跳 500kV 开关 K486	汽机跳闸 K586	500kV 断路器闪络 K686	6kV 跳闸 K786	发电机出口 断路器失灵 K986
1、发电机差动保护			★					
2、发电机失步保护			★					
3、发电机失磁保护			★					
4、定子接地保护			★					
5、发电机不对称过负荷保护			★					
6、发电机过励磁保护			★					
7、发电机对称过负荷保护			★					
8、发电机断路器非全相保护			★					
9、发电机低频保护			★					
10、6kV 联跳							★	
11、发电机定子断水保护			★					
12、灭磁开关联跳					★			
13、误上电保护			★					
14、主泵转速低保护				★				
15、6kV 进线侧电压低保护			★(t ₂)	★(t ₁)				
16、6kV 进线侧频率低保护			★(t ₂)	★(t ₁)				
17、发电机过频率保护				★				
18、正相低功率保护			★					
19、逆功率保护			★					
20、发电机过电压保护			★					
21、主变差动保护	★							

续表 1

保护名称 (输入信号)	全停 K186	全停 (不失灵) K286	跳发电机 出口断路器 K386	跳 500kV 开关 K486	汽机跳闸 K586	500kV 断路器闪络 K686	6kV 跳闸 K786	发电机出口 断路器失灵 K986
22、低阻抗保护	★(t ₂)			★(t ₁)				
23、主变高压侧分相差动保护	★							
24、主变低压侧接地保护、								(发信号)
25、500kV 断口闪络保护						★		
26、主变高压侧零序过流保护	★(t ₂)			★(t ₁)				
27、主变过励磁保护				★				
28、主变瓦斯保护		★						
27、主变压力释放保护		★						
29、主变线圈温度高		★						
30、主变冷却器全停		★						
31、主变油温高保护		★						
32、主变油气套管压力低保护		★						
33、主变油位低保护		★						
34、发电机断路器失灵保护								★

全停 K186:跳 500 kV 断路器、跳 6 kV 断路器、闭锁重合闸、跳发电机断路器、跳灭磁开关、关主汽门、工频手动励磁跳闸、启动母线断路器失灵保护、KDO。

全停 K286:跳 500 kV 断路器、跳 6 kV 断路器、闭锁重合闸、跳发电机断路器、跳灭磁开关、关主汽门、工频手动励磁跳闸。

跳发电机断路器 K386:跳发电机断路器、跳灭磁开关、关主汽门、工频手动励磁跳闸。

跳 500 kV 开关 K486:跳 500 kV 断路器、闭锁重合闸、启动母线断路器失灵保护、跳 DEH 减出力、给棒控系统 RGL。

汽机跳闸 K586:关主汽门。

500 kV 断路器闪络 K686:跳 6 kV 断路器、跳发电机断路器、跳灭磁开关、关主汽门、工频手动励磁跳闸。

6 kV 跳闸 K786:跳 6 kV 断路器。

发电机出口断路器失灵 K986:跳 500 kV 断路器、跳 6 kV 断路器、闭锁重合闸、启动母线断路器失灵保护。

3 相关保护特点分析

3.1 正相低功率及逆功率保护

按照文献[1]中规定:“程序跳闸:对于汽轮发电机是首先关闭主汽门,待逆功率继电器动作后,再跳开发电机断路器并灭磁。”这种程序跳闸方式使发电机变成电动机运行一段时间,由于鼓风损失,对汽轮

机尾部叶片可能造成过热。为此秦山第二核电厂采用了在逆功率保护动作之前加上一正相低功率保护的方式来实现程序跳闸以减少鼓风损失对汽轮机尾部叶片的影响。保护逻辑如图 1。

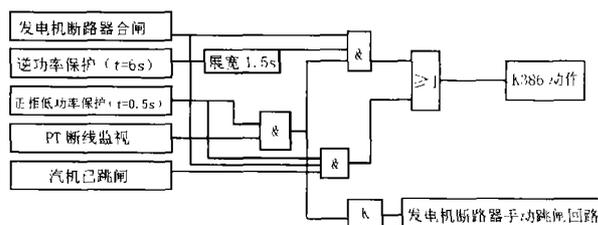


图 1 正相低功率及逆功率保护跳闸逻辑回路

Fig.1 The trip logic diagram of under-power and reverse-power protection

该设计的优点是:①因为低功率的动作区域延伸到逆功率的范围之内,而且正相低功率的动作定值是额定功率(650 MW)的 1%,当程序跳闸时,在正相低功率整定的 0.5 s 内动作,从而避免了逆功率动作而造成的汽轮机尾部叶片的过热损失。②用正相低功率一副触点去闭锁发电机出口断路器的手动跳闸回路,可以避免在 100% 或高负荷下人为将发电机出口断路器误断开。③从最近秦山第二核电厂机组的程序跳闸的记录来看,在正相低功率延时动作的 0.5 s 时间内,发电机有少量的逆功率,但对汽轮机没有什么影响。

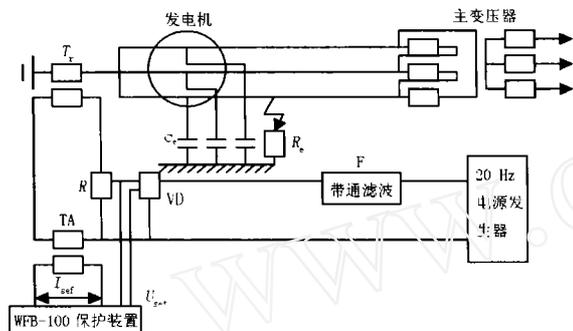
对该设计的改进,可采取减小正相低功率的延时动作时间整定值的措施,这样程序跳闸时,机组的逆功率数值可能更小一些,对保护汽轮机的尾部叶

片有好处。

3.2 定子接地保护特点分析

3.2.1 外加 20 Hz 电源的 100% 定子接地保护

文献[1]中规定:“对 100 MW 及以上的发电机,应装设保护区为 100% 的定子接地保护。”秦山第二核电厂采用的是外加 20 Hz 电源的定子接地保护。100% 定子接地保护构成原理如图 2 所示。



T_r : 接地变压器; R_g : 发电机定子接地电阻; C_g : 发电机定子接地电容; F : 带通滤波器; U_{set} : 监测电压; I_{set} : 监测电流; VD : 分压器; R_b : 电阻

图 2 外加 20 Hz 电源 100% 定子接地保护构成原理图

Fig.2 The principle diagram of 100% stator earth protection

(1) 100% 定子接地保护构成原理说明

20 Hz 发生器 G 产生的 20 Hz 电压施加于发电机中性点地之间,在发电机对地电阻和对地电容之间产生一个很小的电流,此电流通过辅助 TA 产生 I_{set} 注入微机保护装置,接地电流在负荷电阻 R_b 上产生一个电压降,通过分压器 VD 产生 U_{set} 注入微机保护, I_{set} 和 U_{set} 通过数字小滤波,形成了 20 Hz 测量值,并计算出发电机定子对地电阻。与发电机的相电压相比外加 20 Hz 电压是非常小的,此电压对于发电机绕组的绝缘不会产生危害。在正常运行状态下由于 R_g 是接近无穷大的,所以该回路是仅有很小的电流通过的,此电流取决于 C_g 的大小。

(2) 对于外加 20 Hz 电源的 100% 定子接地保护的几点建议

① 20 Hz 电源可能对微机保护测频的准确性产生影响,秦山第二核电厂通过调试实践发现用线电压代替相电压作为测频电压,能够明显减小 20 Hz 电源对微机保护测频的影响。

② 接地电阻是基于发电机频率位于 40 Hz 和 70 Hz 之间计算的,发电机频率过低会干扰 20 Hz 的测量值,因此在发电机启动和停机时,20 Hz 保护动作为应该被闭锁。但是当频率为 0 时,此回路可

以被启用。

3.2.2 95% 定子接地保护

作为双重化保护,秦山第二核电厂还装设了反映基波电压的 95% 定子接地保护,95% 定子接地保护构成原理如图 3 所示。

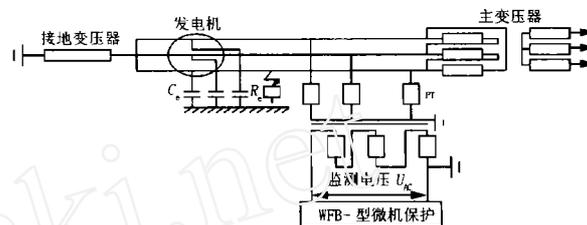


图 3 基于基波电压的 95% 定子接地保护构成原理图

Fig.3 The principle diagram of 95% stator earth protection based on fundamental voltage

95% 定子接地保护定值整定时应注意以下问题:① 不对称运行时不得误动,即整定值必须大于 2 倍的不对称分量,一般取全偏电压的 5% 到 10%。② 必须躲过因系统侧接地故障产生的接地电压通过主变耦合电容,耦合到发电机绕组上的偏移电压。在整定上一般考虑 2 倍耦合电压。

3.3 发电机过频率保护

文献[1]中没有要求发电机安装过频率保护,因为在发电机过频率时可以通过机组调速装置或 DEH(功频调节系统)的调节作用,将频率恢复到额定值;而且频率升高都是在空载及轻负荷的情况下发生,此时汽轮机叶片和拉金所承受的压力都比较小。但是秦山第二核电厂装设发电机过频率保护是基于核电厂的特殊需要的。过频率保护动作于 K486 即跳开 500kV 侧的断路器,让孤岛堆(发电机带厂用电运行)成立。

当秦山侧 5415、5416 线中的一条正常检修而另一条事故跳闸(或两条线未投运),而乔司侧变电所的 1# 主变又处于检修状态,瓶乔 5411 线发生让乔司变电所的开关跳掉而秦山侧开关不跳的故障时,秦山二厂发电机将会由于轻载而发生超频,此时若不装设发电机过频率保护将秦山侧开关 CB32、CB33 跳开,孤岛堆(发电机带厂用电运行)将不成立,将导致厂内电源慢切,反应堆停掉。

3.4 发电机变压器组故障和异常保护配置的分析

发电机变压器组保护的配置应全面考虑发电机-变压器组故障和异常两种运行工况。发电机、变压器在运行中,可能发生发电机定子绕组相间短路、一相匝间短路、单相接地故障;发电机转子绕组(励磁回路)接地、低励、失磁以及变压器绕组相间短路、单

相绕组匝间短路、单相绕组或引出线接地故障;绝缘套管闪络等各种类型的故障。因此,发电机变压器组保护必须配置差动、定子接地、低励、失磁、过流以及失步、逆功率、瓦斯等保护,防止机组异常运行状态发展为故障,造成不必要的损失。

为确保核电厂机组安全和厂用电的可靠,对所有主要的电气故障和异常运行工况都设置有两套主保护。发变组保护装置共有七面保护屏,其中:发电机、变压器保护各设两面屏,核岛高压厂用变压器和常规岛高压厂用变压器各一面屏,接口屏一面。

纵联差动保护是发电机内部相间短路、变压器绕组和引出线相间短路、大接地系统侧绕组和引出线单相接地、绕组匝间短路的主保护。常规电厂中,一般设置有发电机差动、变压器差动和发变组大差保护。因为核电厂对厂用电的要求很高,必须随时保证两路不同电源可用。由于秦山二期在发电机和主变压器之间设有出口断路器,正常停机时,发电机出口断路器分闸,厂用电由 500 kV 系统经主变倒送供电(另一路 220 kV 备用)。由于发电机出口断路器的存在和厂用电的要求,不可能配置发电机变压器大差保护。所以,发电机和变压器各配置了两套完全相同的差动保护和差流速断保护。

4 调试技术论证及调试优化分析

4.1 开关电源调试

WFB-100 型保护的开关电源是保护正常运行的重要保证,在调试当中发现开关电源内部的电解电容的电解液漏出从而导致开关电源板的绝缘损坏,±15 V、+24 V、+5 V 电源的技术指标与国家标准、企业标准严重不符。这种情况下联系相关厂家经过几次更换才使技术指标符合要求。

4.2 保护测频信号调整

在 WFB-100 保护的采样中采用了频率跟随技术,频率测量的准确度将会影响采样的准确性,从而影响保护的正确动作。而在秦山二期发变组保护调试过程当中发现保护装置频率测不准。工作人员从几个方面入手,从硬件方面与软件方面去查找原因,但是都未能查到想要的结果。

100%定子接地保护成为工作人员的追查的目标,因为该保护是基于 20 Hz 电源来实现的,虽然在正常运行时定子回路中 20 Hz 的电压分量是比较少的,但是对于单相 50 Hz 电压中仍然叠加有 20 Hz 电压分量。

该保护设计时选择的测频电压是相电压,而单

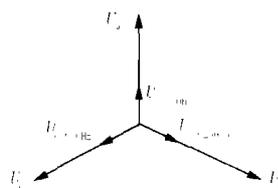


图 4 叠加 20Hz 分量的电压相量示意图

Fig.4 The phasor diagram when 20 Hz voltage component is superposed on generator voltage

相中叠加的 20 Hz 的电压分量将会对测频的准确性产生影响。

因此工作人员将定子接地保护的 20 Hz 电源退掉,发现保护装置对频率能够测准。

理论和试验都确定定子接地保护中的 20 Hz 电源对保护装置的频率测量有影响。

从图 4 当中可以得出 20 Hz 电源对三相的影响几乎是相同的(即 $U_{A(20Hz)} = U_{B(20Hz)} = U_{C(20Hz)}$),将测频电压从相电压改为线电压可能有助于问题的解决。

因为这样可以将 20 Hz 电源的影响抵消掉($U_{AB} = U_A + U_{A(20Hz)} - U_B - U_{B(20Hz)}$)。将测频电压从相电压改为线电压之后,在 100%定子接地保护投入的情况下,频率能够测准。

4.3 正相低功率保护完善

正常的程序跳闸是走逆功率保护的,但是这样可能对汽轮机低压级叶片产生损害,逆功率程度越深对汽轮机的低压级叶片损害越严重,秦山二期程序跳闸是在逆功率之前加了一个正相低功率(正相低功率的动作区包含了逆功率的动作区),因此在发电机程序跳闸时正相低功率先动作。工作人员在调试过程当中对正相低功率和逆功率保护的逻辑及其跳闸的时限进行了优化。修改之前与修改之后的逻辑见图 5、图 6。

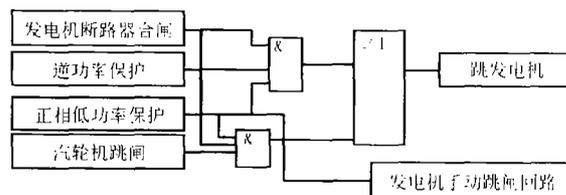


图 5 正相低功率保护修改之前的逻辑图

Fig.5 The logic diagram of under-power protection before modification

正相低功率保护在修改之前,当用于正相低功率保护的 PT(电压互感器)出现断线时,正相低功率对于手动跳发电机断路器的闭锁将会失去。因此,

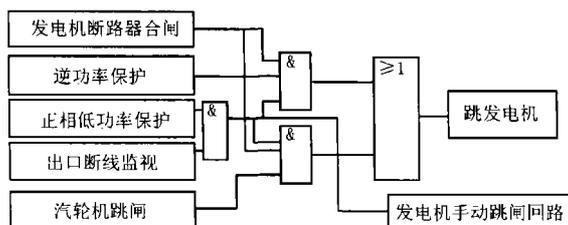


图6 正相低功率保护修改之后逻辑图

Fig.6 The logic diagram of under-power protection after modification

PT断线要闭锁正相低功率保护。

4.4 6 kV 低电压保护完善

当TV断线时6 kV低电压保护可能误动作,因此6 kV低电压保护加了PT断线闭锁。

4.5 500 kV 断路器断口闪络保护完善

对500 kV断路器断口闪络保护的完善,采取了将500 kV断路器断开的接点并联改为串联的措施。

修改原因如下:①当500 kV断路器CB32(42)、CB33(43)断开时,发电机与电网解列,此时发电机与电网将会失去同步,加在CB32、CB33断口上的电压最大将达到2E,此种状态发生闪络的可能性比较大。因此将两个断路器的接点串联作为断口闪络保护出口的必要条件更加符合现场状态。②当一个断路器断开,另一个断路器仍然处于合闸状态时(也就是逻辑修改之前两个断路器接点处于并联时的状态),由于发电机仍然与系统相连,加在断口的两端

电位是同相位。不会发生断口闪络,此时保护若误动,将会引起大面积停电。

综上所述将两个断路器由并联改为串联,使断路器断口闪络保护出口的可靠性得到了提高。

5 结束语

发变组保护是核电厂安全经济运行的重要组成部分,通过电气人员的调试,到目前为止,发变组保护正确动作多次,正确动作率达到100%。各项运行指标都正常。

参考文献:

- [1] DL400-91. 继电保护和自动装置技术规程[S].
- [2] 王维俭, 侯炳蕴. 大型机组继电保护理论基础[M]. 北京: 水利电力出版社, 1976.
- [3] 陈德树. 计算机继电保护原理与技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 1998.
- [4] 杨奇逊. 微型机继电保护基础[M]. 北京: 中国电力出版社, 1988.

收稿日期: 2002-11-06

作者简介:

查卫华(1978-), 男, 大学本科, 助理工程师, 从事电力系统继电保护工作;

王建成(1954-), 男, 工程师, 负责电气工作;

李德佳(1964-), 男, 高级工程师, 负责继电保护工作。

Application of WFB-100 microprocessor-based protection in Qinshan nuclear power station

ZHA Wei-hua, WANG Jian-cheng, LI De-jia

(Nuclear Power Qinshan Joint Venture Co., LTD, Haiyan 314300, China)

Abstract: NPQJVL is a commercial nuclear power station which is designed, constructed, Commissioned, and operated by China. Its generator-transformer protection used WFB-100 microprocessor-based protection system developed by XJ group corporation. From special requirements of large nuclear power station, analyze the configuration feature, relative logic and problem during commissioning of the generator-transformer protection.

Key words: generator-transformer protection; protection configuration; nuclear power station

(上接第68页)

Simulation analysis of characteristic for interphase power controller

LI Juan, LIU Xiu-kuan, JI Yan-chao, LIU Zhuo

(Department of electrical engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin, 150001, China)

Abstract: Based on the practical structure of IPC, The model of two network connected by single tie-line with IPC is built by the SIMULINK—a dynamic simulation tool in the MATLAB, and the dynamic characteristics are studied. The simulation results show that (1) Under the normal operation condition, the load flow of tie-line can be changed efficiently by switching different capacitors and reactors. (2) When short-circuit fault occurs on receiving side of tie-line, IPC have the good attributes—decoupling voltage and interconnected networks; however, when there is an open-circuit fault, the voltage of the sending network is easy to recede and the capacitor may generate over-voltage.

Key words: interphase power controller; dynamic characteristics; MATLAB; simulation analysis