

# 广州蓄能水电厂机组及主变压器继电保护的配置与运行

蔡鑫贵, 史继莉

(广州蓄能水电厂, 广东 广州 510950)

**摘要:** 介绍了广州蓄能水电厂 II 期机组及主变压器微机式继电保护的配置, 简述了蓄能机组运行方式多变、起停频繁的特点对机组、主变保护正常运行所产生的影响, 介绍了目前该厂机变保护因应于上述特点在保护的配置及闭锁逻辑的设定上所采取的策略, 说明了当机组处于不同工况下运行时各个保护闭锁的实现方式, 最后对机变保护自投运以来的运行情况作了简要回顾、分析, 并结合实际维护经验, 提出了现有保护装置的性能及在保护设计上存在的几个问题。

**关键词:** 蓄能; 继电保护; 配置; 运行; 保护闭锁

## Configuration and operation of Guangzhou pumped storage power station generator and main transformer protection

CAI Xin-gui, SHI Ji-li

(Guangzhou Pumped Storage Power Station, Guangzhou 510950, China)

**Abstract:** The Guangzhou Pumped Storage Power Station Phase II generator unit and configuration of main transformer's microcomputer-based relay protection are introduced. At First, the characteristics of the pumped storage protection, due to the multi-operation forms and frequent starting-stop of the motor-generators, are described. Then the realization forms of protection blocking under different operation circumstances are illuminated. At last, the operation of the protection is analyzed, and problems are brought forward on the basis of maintenance experience.

**Key words:** pumped storage; relay protection; configuration; operation; protection blocking

中图分类号: TM77 文献标识码: B 文章编号: 1003-4897(2006)24-0065-05

## 0 引言<sup>[1-4]</sup>

广州蓄能水电厂 II 期(以下简称广蓄 II 期)装有 4 台 300 MW 可逆式电动-发电机组, 电动-发电机组与主变压器采用单元接线方式(如图 1 所示)。电动-发电机组设有出口断路器, 其出口电压为 18 kV, 经离相封闭母线接至主变升至 500 kV, 500 kV GIS 采用五角形接线, 通过三回线路接入广东电网。目前广蓄在电网中主要起着调峰填谷、调频、调压和事故备用的作用。

与常规机组相比, 大型蓄能机组具有运行方式多变、运行工况多等特点, 且需增加水泵启动装置、启动母线和换相刀闸等一次设备, 因而对机组的继电保护提出了较常规机组更高、更多的要求。本文以广州蓄能水电厂 II 期为例, 介绍蓄能机组、主变压器微机保护的配置及特点, 并对现有保护装置的运行情况作一个简单的回顾与分析。

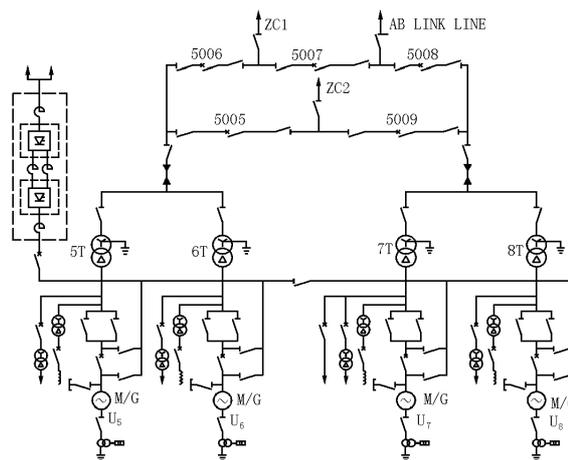


图 1 广州蓄能水电厂 II 期主设备连接图

Fig.1 Primary connection of GPSPS phase II

## 1 广蓄 II 期机组及主变压器保护配置及其特点

### 1.1 机组及主变压器保护配置

除发电机轴电流保护使用了 ABB 产品 (RARIC) 外, 广蓄 II 期的机组及主变压器保护均使用了德国西门子的微机型保护装置, 具体配置如表 1、表 2 所示。

表 1 广蓄 期电动 - 发电机保护配置

Tab.1 Configuration of GPSPS phase II generator-motor protection

序号	代号	保护功能名称	序号	代号	保护功能名称
1	87-1G, 87-2G	纵联差动保护	11	21	低阻抗保护
2	51N-1G	定子 100%接地保护	12	51-2G	定子过负荷保护
3	46T、46P	负序过电流保护	13	64E	转子一点接地保护
4	32-2	低功率保护	14	64-DC	SFC 接地保护
5	32-1	逆功率保护	15	81U	低频保护
6	51-1G	次同步过流保护	16	40	失磁保护
7	47T、47P	电压相序监视	17	78G	失步保护
8	27	断路器失灵保护	18	59/81G	过激磁保护
9	51N-2G	定子 95%接地保护	19	59-1, 59-2	过电压保护
10	51N	定子匝间保护	20	64G	轴电流保护

表 2 广蓄 期主变压器保护配置

Tab.2 Configuration of GPSPS phase II main transformer protection

序号	代号	保护功能名称	序号	代号	保护功能名称
1	87-1T, 87-2T	纵联差动保护	4	51NT1、51NT2	零序过流保护
2	51T1	过流保护	5	67	方向过流保护
3	59/81T	过激磁保护	6	59N	低压侧零序过电压保护

1.2 机组及主变压器保护动作后果及其实现方式  
不同保护的 保护对象或所反映的故障模式不尽相同, 因此会有不同的保护动作后果; 同一保护在不同的设备接线方式下也会具有不同的动作

后果。根据广蓄 II 期主接线方式及机组保护与主变保护配置的情况, 机、变保护所有的动作后果如表 3 所示。

表 3 广蓄 期机组保护及主变保护动作后果

Tab.3 GPSPS phase II action result of generator and main transformer protection

序号	代号	动作后果	序号	代号	动作后果
1	A	灭磁	6	F	软件停相邻机组
2	B	跳本机组出口开关	7	G	跳厂用变供电开关
3	C	软件停机	8	H	跳 SFC 出口开关
4	D	跳 500kV 开关	9	J	启动 CO2 灭火系统
5	E	跳相邻机组出口开关	10	K	闭锁电气制动

各保护功能的实现就是以表 3 中各种动作后果的不同组合表现出来的, 如发电机差动保护动作的后果为 A、B、C、J、K。各保护动作后果会反映在相应的跳闸矩阵 (主变与机组保护各配置了一个跳闸矩阵)。因此, 除动作于报警的保护外, 其他所有保护的 动作信号都是经过相应的跳闸矩阵去实现自身保护功能的。

有关的保护均受到影响。

### 1.3 蓄能机组及主变压器保护的特点<sup>[5]</sup>

2) 在水泵工况启动时, 无论是采用变频装置 (常用 SFC) 或是背靠背 (B-T-B) 方式, 被拖动的机组均需在启动之始即施加励磁电流, 因此定子绕组中的电流频率及幅值都将随着机组转速的变化而变化。启动过程中频率变化对电流互感器传变特性及继电器和保护装置中的感性、容性元件的影响, 势必会影响保护装置的稳态和暂态工作特性, 使其存在拒动或误动的风险。

1.3.1 蓄能机组运行特点对继电保护装置的影响

#### 1.3.2 广蓄 II 期机组及主变压器保护的特点

蓄能机组运行方式多变及运行工况多样的特点对继电保护装置提出了更多、更高的要求。在实际运行中, 保护装置主要受以下两个方面的影响:

为避免蓄能机组所特有的运行方式对保护装置的影响, 我厂在机变保护的配置上、保护闭锁逻辑的设定上均作出了相应的对策:

1) 蓄能机组具有发电和水泵两种运行工况, 运行中需通过换相开关来改变相序以达到正转 (发电) 或反转 (水泵) 目的, 因此一切与相序

1) 利用硬布线切换的方法 (差动保护换相刀侧均安装 5 个 CT) 解决主变差动与发电机差动保护的换相问题, 避免了对电流互感器二次回路的切换。

2)通过为发电及水泵工况各设置一套负序电流保护(46T及46P)来消除换相对负序电流元件的影响。

3)通过采用直接闭锁某项保护功能或切换保护装置整组参数的方法来实现保护在某些运行状态下的闭锁,以防止保护的误动。

如在利用SFC启动机组至抽水方向调相工况(CP)的过程中,监控系统采用直接闭锁方式将发电机纵联差动、定子100%接地等保护闭锁,同时采用整组参数切换方式将发电机定子过负荷、发电机负序方向过流及主变过激磁等保护闭锁。

4)通过为水泵工况增设专门的保护来完善电动-发电机组保护的配置:

①鉴于发电机纵差保护在低频运行阶段可能误动而被闭锁,因此增加了具有良好低频特性的次同步过流保护作为机组在泵工况启动过程中的主保护。

②增加了低功率保护作为水泵工况下电源消

失的保护,它检测的是从系统流向电动发电机的有功功率。该保护仅在机组运行于水泵工况下,且收到导叶打开的信号后方可投入。由于它的保护范围涵盖了逆功率保护的保护区,因此在水泵工况下无须配置逆功率保护。

③增加了低频保护作为水泵工况(P)运行时电源消失的保护,并作为低功率保护的后备保护。

## 2 广蓄 II 期机组及主变保护装置运行情况回顾及分析

自1998年广蓄II期第一台机组投运以来,现有保护装置已分别运行6~8年时间,下面将对几年来保护的运行情况作简要的回顾,然后提出我们在实际维护工作中所遇到的问题。

### 2.1 广蓄 II 期机组及主变保护装置动作情况统计分析

广蓄II期机组自投运以来的保护动作情况如表4所示。

表4 广蓄 II 期机组保护及主变保护动作情况统计

Tab.4 GPSPS phase II action statistic of generator-motor and main transformer protection

序号	保护名称	代号	正确动作次数	误动次数
1	轴电流保护	64G	4	1
2	逆功率保护	32-1	2	0
3	发电机失磁保护	40	3	0
4	定子100%接地保护	51-2G	1	0
5	低频过电流保护	51N-1G	1	0
6	主变差动保护	87-1T	1	0
7	主变差动保护	87-2T	1	0
8	主变方向过流保护	51T1	1	0
	总计		14	1

备注:1、统计时间截至2006年7月10日;2、保护动作的统计不含非电气量保护。

从表4的数据可以看出,现有保护装置运行状态大致良好,保护动作的正确率较高,为广蓄II期机组的安全稳定运行作出了应有的贡献。对于保护的動作情况有以下两点说明:

1)轴流保护误动原因为该装置固有时间元件发生偶然性故障,在时延未达到整定值的情况下出口跳闸。针对此次事件,我厂继保人员对4台机组的轴电流保护装置进行了技改:调整了装置本身固有时间元件的动作延时,同时加装了外部延时继电器,由二者时延的叠加作为轴电流保护的動作时间。技改后轴电流保护装置运行情况良好,未再次发生误动作事件。

2)主变差动保护87-1T、87-2T及主变方向过流保护51T1动作的原因为2006年4月17日#7主变发生B相高压套管均压罩向屏蔽挡板、铁芯连杆放电故障,此次故障同时导致#7主变重

瓦斯保护及压力释放阀动作。

### 2.2 日常运行维护工作中所发现问题的回顾

保护装置自投运以来运行较为稳定,但在实际运行过程及对装置进行定检的过程中,发现如下几个值得注意的问题:

1)定子100%接地保护定值漂移

我厂使用的定子100%接地保护是利用外加20Hz电源来实现的,保护动作于定子绕组对地电阻的降低或定子绕组接地故障电流的增大。在定检中我们发现,20Hz电源发生器普遍存在着输出频率漂移问题,同时伴随有输出电压的变化(如表5所示)。

从表中可见,由于频率漂移程度较为严重,#5机定子100%接地保护装置动作值发生了幅度为6%的漂移,若情况进一步恶化将导致本保

护低阻功能的逐步丧失。借鉴广蓄 I 期对类似问题的解决方法, 目前我们准备通过校正 20 Hz 发生器的输出频率及输出电压来纠正这一异常情

况。找出 20Hz 发生器输出频率发生漂移的原因及提出有效的措施防止频率漂移值得作进一步的探讨。

表 5 定子 100% 接地保护功能测试记录  
Tab.5 Test result of 100% stator ground protection

机组	20 Hz 发生器 (滤波后)		保护动作时电阻/ $\Omega$			动作定值 (二次侧)
	输出频率 /Hz	输出电压 /V	实际接地阻抗 (一次侧)	$R_{prim}$ (一次侧)	$R_{sec}$ (二次侧)	
UNIT 5	19.15 Hz	2.90V	1.00 k	0.95 k	188	200
UNIT 8	20.45	2.851	1.12 k	1.01 k	200	200

2) 低频保护定值漂移  
在 2005 年的定检中, 我们先后发现机组的低

频保护动作值均发生了一定的漂移, 具体情况如表 6 所示。

表 6 机组低频保护定检记录  
Tab.6 Test result of lowfrequency protection

机组	保护定值		试验结果			
	频率/Hz	动作时间/s	频率/Hz	动作时间/s	频率/Hz	动作时间/s
UNIT 6	49.5	30	49.5	51.18	45.49	30.22
	49	10	49	16.24	48.995	10.39
UNIT 7	49.5	30	49.5	52.0	49.498	31.75
	49	10	49	14.67	48.995	10.39

备注: 1、曾对新备品进行校验, 不存在定值漂移问题;

2、#5、#8 机组低频保护亦存在类似问题, 因数据记录不完整, 故未将其列入表中。

由表 6 可见, 低频保护动作值发生的漂移为一个共性问题, 虽然目前动作值的漂移尚未影响保护的正常运行, 但亦需我们去关注其定值漂移的原因。

3) 断路器因操作机构故障无法正常断开事件所引发的思考

2003 年 7 月, 我厂发生了一起在正常停机过程中, 发电机 18 kV 出口断路器因其操作气压泄漏而无法正常停机, 最后需通过手动断开 500 kV 开关来强迫停机的事件。其时由于未有其他保护动作, 因此断路器失灵保护并未启动 (其他保护跳闸信号的存在是现有断路器失灵保护启动的必要条件之一)。由此引发的问题是: 由于现有保护配置无法反应于上述异常情况, 所以在正常停机情况下, 当断路器无法正常断开而又未有其他保护动作时, 是否应启动断路器失灵保护? 若需要, 应遵循怎样的逻辑?

4) 发电机纵联差动与主变压器纵联差动保护存在的保护死区问题

电动发电机和主变压器差动保护均将换相刀侧的 CT 安装于换相刀闸的机组侧母线上, 两组 CT 存在着重叠区域。但当主变压器差动保护的机组侧 CT 至发电机出口开关之间的母线发生故障时, 发电机差动保护虽可动作跳闸, 但显然无法切除故障; 而对主变差动保护而言, 该区域所发生的故障为区外故障, 同样无法切除故障。由此可见, 这个区域为两组差动保护的死区。对于这个问题, 广蓄 I 期保护是通过增加一发电机差动保护的延时 (0.5 s) 跳闸回路 (动作于跳 500 kV 开关) 来解决的, 但广蓄 II 期保护则未采取这样的模式。

5) 负序电流保护 (46P) 在低频状态下功能测试

2005 年 5 月, 针对当时 I 期负序电流保护

表 7 负序电流保护 (46P) 在低频状态下功能测试结果  
Tab.7 Test result of negative sequence current protection in low frequency

频率 $f$ /Hz	外加电流 $I_{sec}$ /A	一次侧电流 $I_{prim}$ /kA	负序电流 $I_2$
50	1.0	15.1/15.1/15.1	0
40	1.0	15.1/15.1/15.1	0
30	1.0	10.1/10.1/9.5	3%
25	1.0	7.5/6.3/7.1	5%
20	1.0	3.2/4.2/4.9	5%
15	1.0	2.3/1.6/2.4	4%
10	1.0	0.6/0.6/1.4	2%

另: 外加 20 Hz 的  $0.8I_N$  至装置中, 维持该电流 600 s, 保护装置的温升为 11% (动作值为 100%)。

(46P)在泵工况停机过程中发生误动的事件,对#5机组的46P进行了试验以测试装置内CT的频率特性:方法为在不同频率下,外加三相对称额定电流 $I_N=1\text{ A}$ (二次侧),从软件中读取对应的一次侧电流(额定值为15 kA)及其负序电流。其试验结果如表7所示。

从试验结果可见:

①频率越低,保护装置内部CT所产生的测量误差越大;

②低频时,由于装置内部CT测量误差的原因,将产生负序电流,且在20~25 Hz时,其负序电流最大,达到5%。(该保护负序电流报警值为6%,动作值为53%);

③负序电流保护46P运行在低频状态下发生误动可能性很小。

### 3 小结

由于抽水蓄能机组担负着调峰填谷、调频、调压和事故备用的作用,因此比常规机组运行工况多,且起停频繁,对继电保护也就有了更高的要求。因此,在保护的设计与选型上需全面考虑好不同工况下保护的工作性能及电气参数变化对保护的影响,以便确定保护的闭锁逻辑。从目前实际的运行经验看,在合理解决好上述问题的前提下,微机型的继电保护装置可以很好地满足蓄能机组的运行要求。

### 参考文献

- [1] 殷建刚,彭丰,杨学锋.抽水蓄能电厂机组保护的

点与配置[J].湖北电力,2002,26(4):82-84

YIN Jian-gang, PENG Feng, YANG Xue-feng. The Characteristic and Configuration of Reservoir Power Plant Generator Set Protection[J]. Hubei Electric Power, 2002, 26(4):82-84.

- [2] 周才全,李歌浩.大型抽水蓄能机组的继电保护配置[J].水电厂自动化,2000,(2):61-68.  
ZHOU Cai-quan, LI Ge-hao. The Configuration of Reservoir Power Plant Generator Set Protection[J]. Hydro Plant Automation, 2000, (2):61-68.
- [3] 常玉红.天荒坪抽水蓄能电厂发变组保护[J].水电站机电技术,2002,(2):53-56.  
CHANG Yu-hong. The Generator and Transformer Protection of Tianhuangping Pumped Storage Power Station[J]. Hydro Plant Mechanical and Electrical Technology, 2002, (2):53-56.
- [4] 杨学锋.天堂抽水蓄能电厂机组及主变压器保护的配置和运行分析[J].水电厂自动化,2004,(2):27-30.  
YANG Xue-feng. The Configuration and Operation Analysis of Tiantang Reservoir Power Plant Generator and Main Transformer Protection[J]. Hydro Plant Automation, 2004, (2):27-30.
- [5] 王维俭.电气主设备继电保护原理与应用[M].北京:中国电力出版社,1996.  
WANG Wei-jian. The Principle and Application of Main Electrical Equipment Relay Protection[M]. Beijing: China Electric Power Press, 1996.

收稿日期:2006-07-25; 修回日期:2006-09-25

作者简介

蔡鑫贵(1977-),男,硕士,主要从事继电保护方面的维护与研究;E-mail:gz-cxg@163.com

史继莉(1977-),女,硕士,主要从事变电站设计、电压稳定方面的工作。

(上接第64页 continued from page 64)

置不对应开入,此时可以采用跳位动合触点串联合后动断触点的方式实现重合闸对断路器偷跳的准确识别。

5) 非技术措施。

在现场运行规程中规定,断路器备用时退出重合闸。当线路处于热备用状态,检修断路器或二次回路时,规定先退装置电源,再退控制电源;先合控制电源,后合装置电源。

### 参考文献

- [1] 朱声石.继电保护原理与技术[M].北京:电力工业出版社.  
ZHU Sheng-shi. Relay Protection Theory and Technology[M]. Beijing: China Industrial Press.

- [2] 山东工学院,山东电力局.电力系统继电保护[M].北京:水利电力出版社.  
Shandong Institute of Technology and Shandong Electricity Bureau. Relay Protection of Power System[M]. Beijing: Hydraulic and Electric Power Press.

收稿日期:2006-06-26; 修回日期:2006-08-01

作者简介:

刘军(1958-),男,高级工程师,从事继电保护方面的运行管理;E-mail:liujun1@163.com

封晓东(1962-),男,高级工程师,从事继电保护方面的运行;

贺要锋(1972-),男,工程师,从事继电保护方面的运行。