

大型发电机变压器继电保护的现状与发展

王维俭 刘俊宏
(清华大学电机系 100084 北京)

摘 要 综述了大型发电机、变压器继电保护当前存在的问题,提出了改进意见,并讨论了主保护优选配置方案和短路故障后备保护的设置问题。

关键词 大型发电机 变压器 继电保护

0 前言

1994年全国继电保护工作会议上,电力部领导明确指出“发电机、变压器等元件保护正确动作率普遍偏低,……最多不到 70%,有的甚至只有 30%~40%”^[1]。

根据电力部安排,1995年和 1996年为继电保护管理年,国家电力调度通信中心、电力部安全监察与生产协调司、电力部电力机械制造局和电力部科技司等联合组织了发电机、变压器保护协调组,重点调研了自 1990年以来部分 100MW 及以上发电机和 220kV 及以上变压器保护装置的运行情况,基本摸清了上述保护正确动作率低的原因,并提出了今后技术改进意见和技术管理措施^[1]。

本文作者在上述调研工作基础上,具体地就有关电气主设备继电保护的现存技术问题和今后发展方向作进一步阐述。

1 发电机-变压器组内部短路主保护配置方案

1.1 发-变组内部短路包含的内容

定子绕组相间短路,发电机机端引线相间短路;定子绕组匝间短路(无论汽轮或水轮发电机,定子绕组同相同槽的情况绝非很少^[2],但汽轮发电机定子绕组同相同分支同槽的情况确实很少或没有),兼管定子绕组分支开焊故障(定子绕组分支开焊故障别无保护,但有时发生此类故障,应尽量考虑其保护要求);

变压器绕组匝间短路;

变压器 Y_N 侧各种接地短路;

变压器绕组及其引线的相间短路。

1.2 发-变组内部短路主保护优选配置方案

假定发电机变压器之间无断路器,发电机机端

厂用变压器分支也不设断路器。

图 1为典型的汽轮发电机-变压器组内部短路主保护双重化配置方案,图 1(a)发电机中性点侧应有 6个引出端,图 1(b)发电机中性点侧只需 4个引出端^[3]。

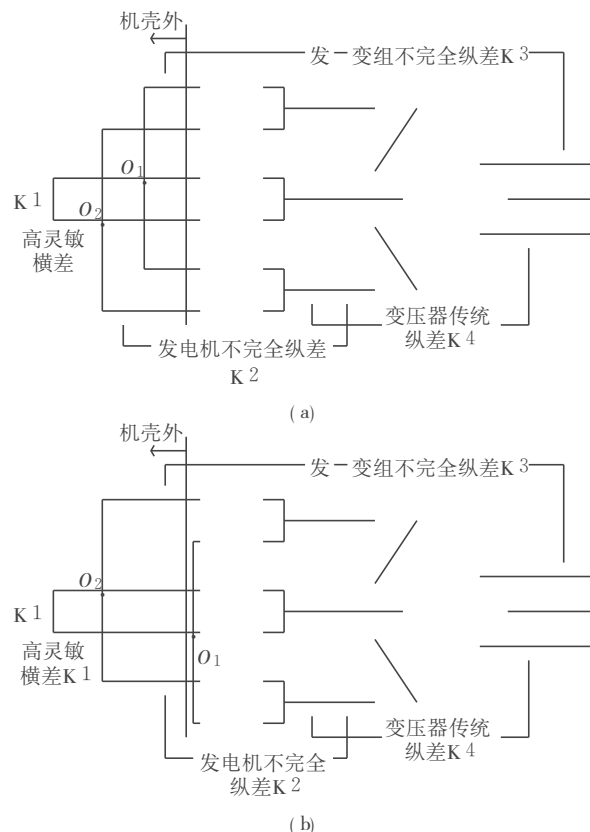


图1 汽轮发电机-变压器组
内部短路主保护双重化配置方案

Fig.1 The disposition of double main protection for inner short circuit of turbo generator-transformer

图 2为每相 5并联分支的水轮发电机-变压器组内部短路主保护双重化配置方案。对于每相并联分支数 a 不是 5的发电机,例如 $a = 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10$ 等,与图 2中 $a = 5$ 完全相似,其特点是设置了两

套高灵敏单元件横差保护。

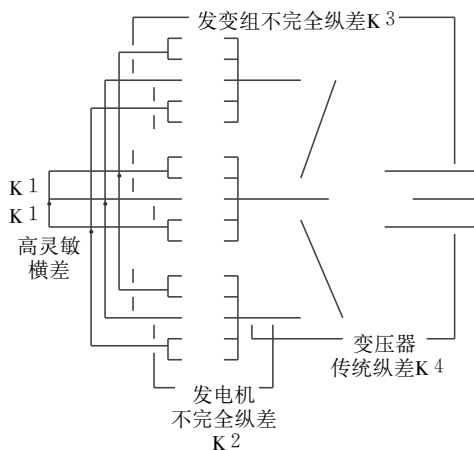


图2 $a=5$ 的水轮发电机—变压器组双重主保护配置

Fig. 2 The disposition of double main protection for hydro generator transformer ($a=5$)

2 高灵敏单元件横差保护(发电机定子绕组内部故障第一主保护)

此保护不仅是定子绕组的匝间短路保护,而且是定子绕组内部一切故障(包括相间、匝间短路和分支开焊)的最简单、高灵敏的主保护。所有大型发电机均应力争装设这种保护,前提是发电机必须具备两组(汽轮发电机)或三组(水轮发电机)中性点。这对于水轮发电机早已实现,对于汽轮发电机,目前还有个别机组(例如盘山电厂的500MW汽轮发电机和高碑店电厂的210MW汽轮发电机)在中性点侧引出6个端子,可以有两组中性点。国内一些电机制造厂已明确表示可以做到这点,没有技术困难,但个别电机制造厂仍以莫须有的理由坚持发电机中性点侧只引出3个端子,也即只有一个中性点,从而完全排斥了装设高灵敏单元件横差保护和不完全纵差保护的可能性。

真机内部短路试验和理论分析计算^[2]均已证明图1和图2中的高灵敏单元件横差保护K1对定子绕组所有内部故障具有较高的灵敏度。应注意的技术问题是:

(1) 横差保护用互感器变比应大幅度减小,不必遵循没有科学根据的按发电机额定电流的 $1/4$ 来选择变比的旧规定,例如615~700MW的大古力第三电站发电机,该变比为200/5A;二滩电站550MW发电机,可选用500/5A,200/5A,100/5A。

(2) 加强三次谐波滤波。对于微机保护,三次谐波滤过比应大于80它是防止外部短路误动的内部保证条件。

(3) 动作电流整定应通过发电机投运前的常规短路试验实测确定,这是一种科学严谨的工作作风,是防误动的一个重要措施。任何一台新投运的发电机,必须做常规短路试验,继电保护顺便实测横差保护中不平衡电流的基波和三次谐波,用线性外推法求出最大不平衡电流,最终确定合理的动作电流值^[2]。

3 不完全纵差保护

上述高灵敏单元件横差保护对发电机外部三相引线短路无效,而且发电机内部故障还应有第二主保护,因此如图1和图2所示,装设发电机不完全纵差保护(K3)。

由于传统纵差保护只对发电机及其引线的相间短路有效,功能太少。将传统纵差保护的中性点侧互感器改接在每相的部分并联分支绕组中,即构成不完全纵差保护。基于定子绕组各部分间的互感作用,不完全纵差保护的功能与传统纵差保护相比有了新的发展,即不仅反映相间短路,还能反映匝间短路和分支绕组开焊故障,名符其实地成为发电机内部故障的第二主保护和机外引线的第二主保护。

当汽轮发电机中性点侧引出6个端子时,利用每相中另一半并联分支的互感器与主变高压侧互感器构成发-变组不完全纵差保护,它是变压器第一主保护,发电机外部引线的第二主保护,发电机内部故障的第三主保护或后备保护,如图1中的K3。当中性点侧只有4个引出端子时,两套不完全纵差保护只能同时接在中性点侧的同一分支绕组互感器中,如图1(b)所示,它的性能稍逊于图1(a)。图2的主保护配置方案,对发电机内部故障而言,实际上已是4重化主保护(两套K1分别出口跳闸)。

图1和图2中的K4是变压器内部短路的第二主保护,兼有保护变压器引线的作用。

图2或类似图2的主保护配置方案已在十三陵抽水蓄能电站、龙羊峡电站和岩滩电站的大机组上运行,并已成为正在建设中的二滩、三峡和天生桥一级电站采用。它涉及的保护是原理成熟、经验丰富的传统横差和纵差保护,并已经过改进、发展和深化提高。但迄今尚未推广应用到汽轮发电机上。

4 现有发电机内部故障主保护方案的主要问题和改进

现有发电机内部故障主保护方案是:传统纵差(相间短路)、传统横差、基波纵向零序电压、二次谐波转子电流。分别讨论如下。

4.1 传统纵差保护

主要是保护功能不全面(只对相间短路有效)。运行中正确动作率不高的主要原因是维护管理水平低、元器件和产品制造质量差,亟须加强工作人员的思想工作和技术培训。

4.2 传统横差保护

对三次谐波滤过比小于 15 的老式横差继电器,应改进滤波电路,将滤过比提高到 30 以上。应积极创造条件将传统横差保护改造成高灵敏横差保护,即更换互感器(大幅度减小变比)、提高三次谐波滤过比到 80 以上,正确整定动作电流(通过常规发电机短路试验,实测横差保护不平衡基波和三次谐波电流)。

4.3 基波纵向零序电压保护

此保护方案采用机端对中性点的(不是对地的)基波零序电压作为保护动作参量,必须配备专用电压互感器,其一次中性点与发电机中性点直接连接且不能接地。此保护曾作为 BBC 对英国发电机组补装匝间短路保护的推荐方案,但美国明确不同意这样做,因为这样做的结果,当 PT 一次中性点与发电机中性点的连接电缆发生接地故障时,将被定子绕组接地保护视为发电机发生了接地故障。

应该通过发电机常规短路试验测定此保护的不平衡电压,并由线性外推法估算外部短路时的最大不平衡电压,确定该保护的合理整定值。无根据地盲目提高动作电压无异于扼杀该保护。

必须增设三次谐波的阻波环节,减小不平衡电压,有利于防止外部短路时的误动作。在加强三次谐波滤波的基础上,和单元件横差保护一样,在发电机的常规短路试验中,实测基波和三次谐波零序电压,并用线性外推法,估算外部短路时的最大不平衡电压 $U_{unb.1\max}$ 和 $U_{unb.3\max}$,整定计算动作电压为

$$U_{op} = 1.3 U_{unb.1\max}^2 + \left(\frac{U_{unb.3\max}}{K_3} \right)^2$$

式中 K_3 为三次谐波滤过比。

4.4 二次谐波转子电流保护

众所周知,区别发电机内外短路的判据决不是转子二次谐波电流 I_{fd2} ,而是负序方向继电器 P_2 ,由 I_{fd} 的常开触点和 P_2 的常闭触点组成“与门”出口跳闸。当外部不对称短路时, P_2 常闭触点先断开, I_{fd} 常开触点后接通,不会造成误跳闸;但当外部短路切除时, P_2 触点将首先复归接通, I_{fd} 触点还来不及断开,势必误切发电机。改进方法是使 P_2 继电器触点的动作快于 I_{fd} 而返回却慢于 I_{fd} ,方能保证切除外部不对称短路时不发生误动。

如果将 P_2 改为常开触点,则此保护已不是二次

谐波转子电流保护了,宜改称为负序方向保护。模拟式负序方向保护继电器在发电机同期并网过程中和切除外部短路、重合过程中,由于频率偏离 50 Hz,负序电压和负序电流滤过器将有相位不定的不平衡随机输出,使 P_2 元件失去方向选择性,造成保护误动。因此模拟式负序方向继电器不能作为发电机内部短路的保护主判据(但数字式微机保护用故障分量 $\Delta \dot{U}_2$ 和 $\Delta \dot{I}_2$ 构成 ΔP_2 保护是成立的^[3])。

为了更安全地不在外部短路暂态过程中误动作,不得已采用 0.1~0.2s 的延时。

很显然,当采用图 1 和图 2 的主保护配置方案时,就可以完全舍弃基波纵向零序电压保护和二次谐波转子电流保护方案。

5 发-变组短路故障后备保护

这里限于讨论大型发-变组接于 220kV 及以上的超高压系统。对于超高压输电线路,除有双重主保护外,还配有三段或四段的距离保护和零序电流保护,以及断路器失灵保护。超高压母线也必配有双重纵差保护。总之超高压系统没有要求发-变组为其配备远后备保护。

大型发-变组内部故障也已配备双重(甚至三重、四重)主保护。

根据以上情况,自然要提出大型发-变组是否应该装设短路故障的后备保护。运行实践表明,这种后备保护误动作率很高,“成事不足,败事有余”。

应该指出:对于装设在机端或主变高压侧的阻抗保护继电器,当短路发生在发电机或变压器内部,阻抗继电器得到的电压有时可能比较高,电流却比较小,即视在阻抗比较大,阻抗保护的灵敏度往往不能保证,并不能真正担当起发-变组内部短路的后备保护作用。至于电流、电压保护的灵敏度就更低了。

是否可以这样认识:将发-变组的一套主保护(例如发-变组不完全纵差)视为快速、灵敏的近后备保护,该保护对相邻母线和输电线无远后备保护作用(本来无此要求)。

在有关系统各部分均有双重主保护和断路器失灵保护的前提下,取消大型发-变组的后备保护的问题,值得讨论。

6 发电机定子绕组单相接地保护(兼谈发电机中性点接地方式)

定子绕组单相接地故障对发电机组的损伤程度与发电机中性点接地方式密切相关。接地故障电流的大小和持续时间的长短将直接影响定子铁芯的烧

伤程度和修复期。

CIGRE 23.06工作组对世界各国的调查结果指出:“在选择发电机中性点接地方式时, 99%绝对多数的用户, 主张将接地故障电流保持在非常低的水平”^[4]。

我国国标《继电保护和安全自动装置技术规程》(1991年版) 中规定了发电机定子绕组单相接地故障电流允许值, 见表 1。

表1 发电机定子绕组单相接地故障电流允许值
Table 1 Allowable value of single phase grounding fault current of stator winding

发电机额定电压/kV	接地电流允许值/A
6.3	4
10.5	3
13.8~ 15.75	2
18~ 20	1

当发电机单相接地电容电流大于上述数值时, 为了定子铁芯的安全, 最大限度地减少对系统和负荷的扰动, 应采用消弧线圈补偿方式, 使故障点接地电流减小到允许值以下。在这种条件下, 大型发电机的单相接地保护可只作用于信号, 不实行保护跳闸停机, 但应立即上报调度, 同时转移负荷, 平稳停机检修。

个别 300 MW 引进汽轮发电机组, 采用中性点中阻(不是高阻) 接地方式, 单相接地电流高达 50 A 左右, 绝不应在国内推广。

大量国外大型发电机中性点采用经配电变压器(二次接电阻) 高阻接地方式, 它们的单相接地电流将比自然电容电流增大 $\sqrt{2}$ 倍以上, 不符合减小接地故障电流的发展方向。他们这样做的理论依据是高阻接地方式下的暂态过电压小于消弧线圈接地方式, 这个论点是欠科学根据的, 错误在于将消弧线圈视为无电阻的纯电感 L , 此 L 与发电机对地电容 C 在单相接地故障的间歇性弧光接地暂态过程中形成理论上的 $L-C$ 并联谐振电路, 产生了虚假的暂态过电压倍数。实际消弧线圈本身一定有电阻(为了消能, 可在消弧线圈回路中串接小电阻), 这样, 单相接地故障的暂态过电压并不大^[5], 完全为发电机定子绝缘安全所许可。我国在水轮发电机中长期普遍采用消弧线圈接地方式, 和美国新英格兰系统全部发电机采用谐振接地方式的经验一样, 取得了完全成功, 足以佐证消弧线圈接地方式的安全性。

消弧线圈接地方式下的发电机单相接地保护灵敏度要高于经配电变压器高阻接地方式的灵敏度^[3]。

基波零序电压型定子接地保护简单可靠, 可望

保护定子绕组的 90%~ 95%(动作电压二次值为 10 ~ 5 V)。此保护宜接于发电机中性点的单相 PT 二次侧, 这样可省却接于机端三相 PT 时的电压断线闭锁装置, 既简单又可靠。应注意校验超高压系统接地短路时, 经主变高、低压绕组间的耦合电容, 传递到机端的基波零序电压大小是否使定子接地保护误动作。

三次谐波电压型定子接地保护主要为消除上述基波接地保护的動作死区(在发电机中性点附近)。在中性点附近发生接地故障时, 接地电流不大, 该保护宜作用于信号。因为作为保护制动量的中性点三次谐波电压, 有时因中性点单相 PT 小车虽已推入但实际未接通, 使保护在发电机正常运行时失去制动量而造成误动作。

近已查明, 升压变压器在正常运行时铁芯已工作在饱和区, 因而高压侧的三次谐波电动势 E_{3H} , 可以经主变高低压绕组间的耦合电容传递到机端, 影响三次谐波电压定子接地保护的正确工作, 出现发电机正常运行而机端三次谐波电压 U_{S0} 大于中性点三次谐波电压 U_{N0} 的异常现象, 违反了正常规律 $U_{S0}/U_{N0} < 1$ 。对于模拟式保护应修改动作判据为

$$|\dot{U}_S|/|\dot{U}_N| > K_{rel} |\dot{U}_{S0}|/|\dot{U}_{N0}|$$

式中 K_{rel} 为可靠系数; K_{rel} 可取为 1.15。

如为微机保护, 可将 E_{3H} 传递到机端的三次谐波电压 $\dot{Y}E_{3H}$ 加入到 \dot{U}_S 和 \dot{U}_N 中, 即

$$\dot{U}_S' = \dot{U}_S + \dot{Y}E_{3H}$$

$$\dot{U}_N' = \dot{U}_N + \dot{Y}E_{3H}$$

而 $\dot{U}_S + \dot{U}_N = \dot{E}_3$ (发电机三次谐波电动势)

式中 Y 为由主变耦合电容和发电机对地电容决定的分配系数, 为常数值, $Y \ll 1$ 。

7 转子绕组接地保护

转子绕组一点接地故障对发电机并无危险, 但是如发生第二点接地, 部分转子绕组经大轴短路, 转子南北极不再对称, 轴系振动加大, 无功减少, 特别是可能引起轴系(包括汽轮机叶片) 磁化现象, 延误恢复正常发电。鉴于此, 大型汽轮发电机组可否与水轮发电机组一样, 只装设转子绕组一点接地保护, 在发生一点接地故障后, 保护作用于信号, 经转移负荷, 平稳停机检修, 以免发生第二点接地故障, 这样也就没有必要再装设汽轮发电机的转子绕组两点接地保护了。

广泛采用的测量对地导纳的转子绕组一点接地保护, 理论上灵敏度与转子绕组对地电容值无关, 但这要求继电器制造厂家严格做到测量回路呈纯阻性

才能达到,这相当困难。江苏望亭电厂发现轴电刷与轴滑环之间的接触电阻严重影响该继电器的测量精度,据此提出加大电刷对滑环的压力的改进措施。

该保护继电器在原理上不允许将对地绝缘电阻整定得太高(例如大于 $20\text{ k}\Omega$)^[3],否则很难测量准确,表现为动作定值不稳定。一般整定值宜小于 $10\text{ k}\Omega$ 。此外整定导纳圆应使金属性接地故障位于圆内,而不应位于圆的边界,以免动作不明确。

8 低励失磁保护

大型发电机的励磁系统比较复杂,由励磁系统故障造成的发电机低励或失磁,仍是发电机故障的主要成分。

近年来,低励失磁保护运行情况良好,应在继电器选型和定值整定计算方面进一步提高。

目前低励失磁保护的主判据较多使用的有:

(1) 系统三相同时低电压 这是为防止发电机失磁、系统无功储备不足、危及系统电压崩溃的重要动作判据;

(2) 静稳极限判据 这是按发电机因低励或失磁故障到达静稳极限时继电器动作的判据。由于大型汽轮发电机 $X_d \neq X_q$,其静稳极限阻抗轨迹如图3曲线1所示,该曲线用作图法绘制并不太复杂^[3],只要给定发电机参数 X_d 和 X_q 及系统电抗 X_s 就能作出。随有功改变的转子电压判据亦属此类判据。

(3) 异步边界圈 这是发电机低励失磁故障后,机端阻抗轨迹最终到达的区域,如图3的圆2和圆3所示。

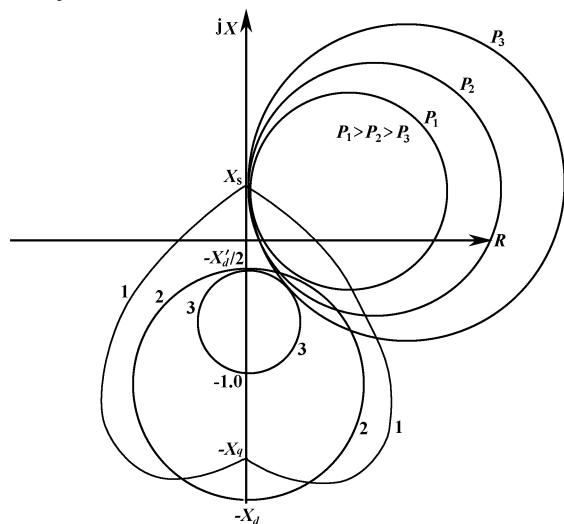


图3 大型汽轮发电机失磁阻抗图

1为静稳边界滴状曲线;2为异步边界阻抗圆;3为过 $(Q = -X_d/2, Q = -1.0)$ 两点的阻抗圆

Fig 3 The loss-field impedance graph for large turbo-generator

图3中还画出了发电机失磁故障后到达失步前的等有功阻抗圆族,随失磁前有功 P 的不同而有不同的圆半径,但均与纵轴相切于 jX_s 点。

根据系统无功储备情况、系统结构 (X_s) 和发电机相对系统容量的大小,确定是否采用系统三相同时低电压判据。我国大型水电站或坑口火电厂,远离负荷中心,建设初期,与系统联系薄弱,常常需要这一判据。

绘制图3的诸机端阻抗曲线,确定采用异步边界判据还是静稳极限判据。对于远离负荷中心的大机组, X_s 较大,宜采用静稳极限判据。我国曾发生过大型水轮发电机失磁,系统联系很弱,失磁保护用异步边界判据,在失磁保护尚未动作前,超高压输电线对侧后备保护动作而抢先跳闸,扩大了故障范围。

9 转子表层负序过负荷保护(负序电流反时限保护)

建国以来,因不大的负序电流持续时间很长,最终使转子本体严重烧损的恶性事故时有所闻,教训惨重,应引以为戒。

以 $I_2^2 \geq A$ 为动作判据的转子表层负序过负荷保护,是这类故障的唯一专用保护,决不能与作为后备保护的负序电流保护混为一谈。根据电机制造厂规定的 A 值,此保护的動作时限独立由 $I_2^2 \geq A$ 决定,不必与相邻设备或线路的后备保护时限求配合。从这点出发,这是转子表层负序烧伤的主保护,决非发电机的后备保护。

运行统计资料表明,这套保护误动较多,其误动原因除制造质量和维护水平外,应特别指出两点:

(1) 采用充电式反时限元件的负序电流反时限保护,因为装置中使用了多只小型中间继电器,后者质量不合格,导致保护误动。应逐步淘汰此类产品。

(2) 大型发电机的电流互感器变比很大,为防止互感器二次断线引起严重过压甚至酿成电缆起火,曾采用增设非线性压敏电阻并联于互感器二次侧。因为压敏电阻质量问题,造成二次分流,使二次三相电流不对称,产生负序分量,经相应的长时间后,终至保护误动作。为此停用质量不稳定的压敏电阻是必要的。

10 其它异常运行保护

10.1 过励磁保护

已发现国外引进的主设备过励磁能力与保护装置过励磁动作特性严重失配的事例,失去了有效的过励磁保护目的。国产主设备应认真地科学测定它们的过励磁能力,继电器制造厂应设计制造符合

主设备过励磁能力的相应保护装置。

10.2 误合闸保护

国外已多次出现在发电机盘车过程中,断路器突然误合闸,发电机呈异步启动状态,其电抗接近 X_d'' ,定子绕组电流很大,转子中也感应差频电流,可能在几秒钟内损坏发电机。这类事故在国内也已有发生。

已有的发电机逆功率继电器、失磁阻抗继电器可以反应误合闸异常工况,但这些保护均有时限,不如另设专用误合闸保护^[3]。

11 改进主设备保护工作的其它意见

(1) 切实加强各级管理部门对大机组继电保护工作的管理与领导,彻底改变上级部门不过问大机组保护的状况。

(2) 认真组织各级继电保护工作人员的技术培训和考核工作,使技术培训工作经常化和制度化,建立超高压线路和大容量主设备保护的考核上岗制度。

(3) 加紧编写主设备保护的整定计算和调试导则,投入足够的人力物力,确保编写质量。

(4) 请制造部门科学测定发电机变压器的过励

磁能力曲线和发电机转子表层负序过负荷能力(A 值)。

(5) 为认真总结经验教训,减免发生重复性主设备保护的误动或拒动现象,应在大机组上配备专用的故障录波分析装置,逐步更换已配置的线路用故障录波装置。

12 参考文献

- 1 发电机、变压器保护工作组. 大机组继电保护调查报告. 电力自动化设备, 1996(3)
- 2 王维俭, 侯炳蕴. 大型机组继电保护理论基础. 第2版, 水电出版社, 1989.9
- 3 王维俭. 电气主设备继电保护原理与应用. 中国电力出版社, 1996.1
- 4 Basile J. Taylor J. Report on Methods for Earthing of Generator Step up Transformer and Generator Winding Neutrals as Practiced Throughout the World. CIGRE, Electra, 1988(3)
- 5 王维俭, 刘俊宏等. 三峡发电机组中性点接地方式分析. 中国三峡建设, 1996(4)

王维俭, 男, 教授, 博士生导师, 长期从事大机组继电保护的教學、科研工作。

刘俊宏, 博士, 从事大机组继电保护研究。

PRESENT STATE AND DEVELOPMENT OF RELAY PROTECTION ON LARGE GENERATOR AND TRANSFORMER

Wang Weijian⁽¹²⁾ Liu Junhong⁽¹²⁾
Tsinghua University 100084 Beijing 100084 China 14.

Abstract On the basis of investigating present operational situation¹⁸ the authors summarised the current problem of relay protection for large power generator and transformer¹⁸ and put forward suggestions for improvement.

Keywords large power generator transformer relay protection

电 力 自 动 化 研 究 院 在 “天生桥一级水电站计算机监控系统工程”国际招标中中标

日前,电力自动化研究院在有 ABB、西门子等国际知名的大公司参加的“天生桥一级水电站计算机监控系统工程”国际招标中一举中标,并于 1997 年 4 月 16 日签约。电力自动化研究院是此次国际招标中唯一的国内厂家,这一项目为该院在国际招标中中标的最大单项目。

天生桥一级水电站位于贵州省安龙县与广西壮族自治区隆林县交界处的红水河上游南盘江上,是红水河梯级电站的第一级。下游约 7 km 是天生桥二级电站。该电站距贵阳 240 km,距昆明 250 km,距广州 850 km,天生桥一级电站以发电为主,主要向广东、广西和贵州供电,在系统中承担腰荷、峰荷,调频不调相。4 台 300 MW 发电机组各连接一台 380 MVA 双卷升压变压器,将发电机端电压升至 220 kV,经 4 回线,以发电机—变压器—线路组方式接入马窝换流站,然后经换流以 ±500 kV 直流向广东等地送电。该电站选用具有国内成功运行经验的监控系统 NARI ACCess,并使用 Alpha 服务器、工作站,高速双光纤网络,以及先进的智能 I/O 现场设备。由于采用了一系列先进技术和设备,将使系统达到 90 年代国际先进水平。

天生桥一级水电站工程的业主单位为南方电力联营公司,工程设计单位为昆明勘测设计研究院。全套系统由电力自动化研究院自动控制研究所开发完成,该电站预计 1998 年底第一台机组投产发电,2000 年全部竣工,计算机监控系统将与第一台发电机组同步投运。

(电力自动化研究院自控所 210003 南京 323 信箱)