

300 MW 发电机中性点采用消弧线圈补偿接地方式在大坝电厂的应用

王怀智

(宁夏青铜峡市大坝发电厂, 宁夏 青铜峡 751607)

摘要: 结合大坝发电厂 1 号机定子接地试验情况, 以及定子接地故障事例, 以实际参数论证了采用消弧线圈接地产生三种内部过电压(传递过电压、铁磁谐振过电压、发电机系统中的断线过电压)的不可能性。并以事例说明了采用消弧线圈补偿接地的可行性。

关键词: 大坝发电厂; 电机中性点; 消弧线圈; 接地

中图分类号: TM77 **文献标识码:** B **文章编号:** 1003-4897(2002)09-0070-04

1 引言

发电机中性点接地方式与单相接地故障电流、定子绕组过电压等问题有着密切的关系, 讨论和决定发电机的中性点接地方式必须根据科学的理论分析, 结合本厂的运行经验, 当然也可以借鉴他人的运行经验, 综合考虑单相接地电流、过电压和接地保护的构成等诸多因素, 选择最佳中性点接地方式。

大坝发电厂的 QFS-300 型 300 MW 发电机, 中性点是经过配电变压器接地的。这是目前大型发电机组中性点最广泛采用的一种接地方式, 它具有可将发电机的动态过电压限制在 2.6 倍以下的优点。但是, 大坝发电厂 300 MW 发电机的运行经验表明:

(1) 发电机中性点经配电变压器接地方式, 由于当发电机定子接地时, 流过接地点的电流很大(计算值为 3.3 A), 因此, 发电机定子接地保护始终投入跳闸切机, 在发电机发生定子接地故障时, 立即将发电机组从电网中解列, 给电网和发电机本身都带来不利因素(大坝发电厂曾发生过这类故障)。

(2) 发电机正常时线圈对地的绝缘电阻通常不小于 1Ω , 使定子接地保护的灵敏度很低。

(3) 由于发电机定子接地保护投入跳闸, 大坝发电厂也发生过由于定子接地保护装置原因, 引起发电机组误跳闸的事故。

为了消除以上缺点, 根据试验研究提出, 300 MW 发电机中性点采用消弧线圈补偿接地比配电变压器接地更为合理。因此, 大坝发电厂在 1 号发电机实施了中性点经消弧线圈补偿接地的实验, 并取得了成功的经验。

2 发电机定子接地试验

为了确定大坝发电厂 300 MW 发电机中性点接地方式的合理性, 定子接地保护投入的方式以及其动作的可靠性, 以大坝发电厂 1 号发电机为例进行了定子接地试验。其主要接线如图 1 所示。

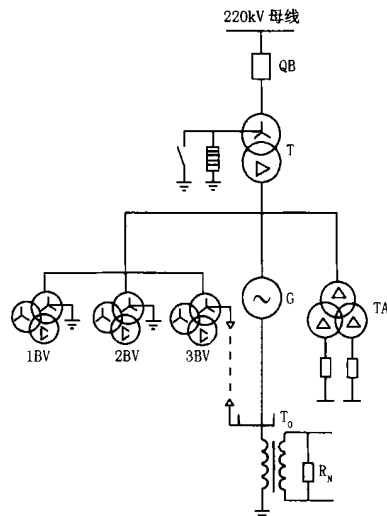


图 1 单机主接线图

Fig. 1 Main connection of single generator

试验时, 将发电机机端 B 相接地, 零起升压, 在不同电压下测出接地电流(见表 1、表 2)。

表 1 发电机中性点经配电变压器接地时, 机端的接地电流
Tab. 1 Ground current of generator terminal when the generator neutral point grounds via distribution transformer

机端电压/kV	4	8	10.5	18
接地电流/A	0.64	1.08	1.88	3.25

表 2 发电机中性点经消弧线圈接地时,机端的接地电流

Tab.2 Ground current of generator terminal when the generator neutral point grounds via arc suppression coil

		4	6	8	10	18
机端电压/kV						
接地电流/A	分接头档位 1	0.2	0.37	0.55	0.725	1.34
	分接头档位 2	0.1	0.2	0.27	0.345	0.72
	分接头档位 3	0.05	0.11	0.19	0.24	0.44

测量结果表明:发电机中性点经配电变压器接地,机端发生单相接地故障时,通过接地点的实际电流为 3.25 A,而发电机允许的接地电流只有 1 A,所以定子绕组接地时必须切机。当发电机中性点经消弧线圈补偿接地,机端发生单相接地故障时,通过接地点的实际电流很小,可以满足发电机允许的接地电流。因此,发电机定子接地保护可以只投信号。

3 300 MW 发电机组中性点采用消弧线圈补偿接地时的内部过电压分析

上述试验表明,当发电机经配电变压器接地时,存在有定子接地故障时接地电流大、定子接地保护的动作灵敏度低等缺点。采用消弧线圈补偿接地时可以弥补以上缺点。但是在暂态过电压方面常引起人们的关心和担忧,在此以大坝发电厂的 300 MW 发电机为例进行分析研究。

当发电机中性点采用消弧线圈补偿接地时,由于发电机中性点的接地方式发生了变化,中性点的阻尼状况和 L 、 C 参数均发生了变化,针对大坝发电厂的单机主接线及具体参数,可能引起的过电压类型有:传递过电压、铁磁谐振过电压、断线过电压。下面,对这三种过电压进行分析。

以大坝发电厂 1 号机组为例,将图 1 中的配电变压器接成消弧线圈。图 1 的等值电路如图 2 所示。

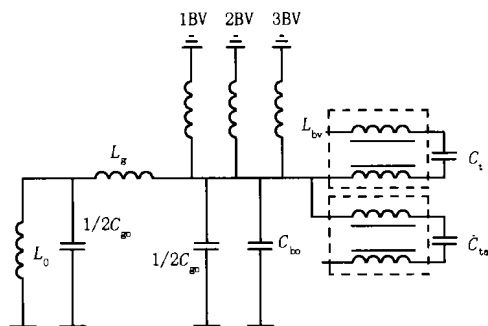


图 2 等值电路图

Fig.2 Equivalent circuit

在图 2 中: C_{g0} 为发电机定子绕组对地电容(三

相和) ($0.584 \sim 0.73 \mu\text{F}$); C_{b0} 为发电机所联元件对地总电容(母线对地电容 $0.003 \mu\text{F}$, 厂高变高压绕组对地电容 $0.0159 \mu\text{F}$, 及主变低压绕组对地总电容 $0.028 \mu\text{F}$ 之和); L_{bv} 为电压互感器一次绕组总电感(将电压互感器二次阻抗折算到一次侧约为 $10 \sim 15 \text{ M}\Omega$); 认为二次开路, 电压互感器一次回路阻抗可取激磁阻抗, 不计电阻分量为 $1.5 \sim 1.7 \text{ M}\Omega$; C_{ta} 为厂用变压器一次绕组对二次绕组之间的耦合电容 4000 pF ; C_t 为主变压器高压绕组与低压绕组之间的耦合电容 4000 pF ; L_0 为消弧线圈的电感。

3.1 传递过电压

当主变高压侧出现零序电压时, 该电压会通过耦合电容(图 2 中的 C_t) 传递到发电机系统, 可能引起发电机系统过电压。其传递回路如图 3 所示。

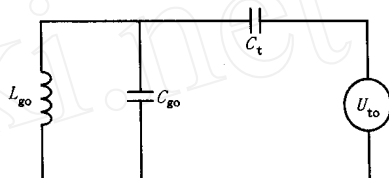


图 3 零序电压传递回路图

Fig.3 Transfer circuit of zero sequence voltage

图 3 中: U_0 为主变高压侧零序电压; L_{g0} 为发电机系统对地电感; C_{g0} 为发电机系统对地电容; C_t 为主变压器高低压绕组之间的耦合电容。

传递到发电机系统中的零序电压为

$$U_{g0} = \frac{U_0 (X_{L0} // X_{C0})}{X_{Ct} + (X_{L0} // X_{C0})} \quad (1)$$

式中: U_{g0} 为传递到发电机系统中的零序电压; X_{Ct} 为主变压器高低压绕组之间的耦合容抗; X_{L0} 为发电机系统的对地电抗; X_{C0} 为发电机系统的对地容抗。

从式(1)可以看出: 当 L 与 C 发生谐振时, $U_{g0} = U_0$, 则 U_0 全部传递到发电机系统, 而当 $X_{Ct} + (X_{L0} // X_{C0}) \rightarrow 0$ (即 C_t 与 L 、 C 并联回路发生串联谐振) 时, $U_{g0} \rightarrow \infty$, 从而造成过电压。因为

$$X_{Ct} = \frac{1}{j\omega C_t} = \frac{-j10^9}{314 \times 4} = -j0.796 \text{ M}\Omega$$

$$X_{L0} \approx j0.2 \text{ M}\Omega$$

$$X_{C0} = \frac{-j}{\omega C_{g0}} = \frac{-j10^6}{314(0.584 \sim 0.73)} = -j(0.005 \sim 0.0041) \text{ M}\Omega$$

将以上各数值代入式(1)得

$$U_{g0} = 0.005 U_0 / 0.8 = 0.006 U_0$$

所以 $|U_{g0}| \ll |U_0|$, 不会发生串联谐振过电

压。

发电机机端发生单相金属性故障时,零序等效电路如图4所示。

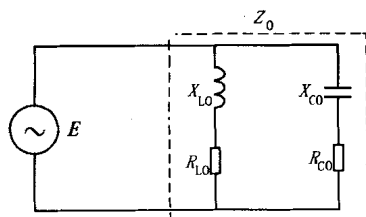


图4 单相接地等值电路图

Fig. 4 Equivalent circuit for single-phase earthing

在图4中: R_{L0} 和 R_{C0} 分别为消弧线圈和发电机定子绝缘介质损耗的等效电阻,机端发生单相金属性接地时的等效零序阻抗 Z_0 为

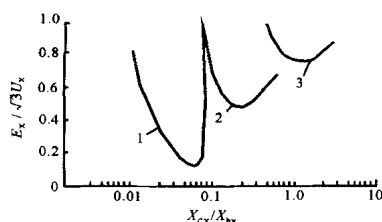
$$Z_0 = \frac{(R_{L0} + jX_{L0})(R_{C0} - jX_{C0})}{R_{L0} + R_{C0} + j(X_{L0} - X_{C0})} \quad (2)$$

由式(2)可以看出,并联谐振的条件为 $Z_0 \rightarrow \infty$,由于 $R_{L0} \ll X_{L0}$, $R_{C0} \ll X_{C0}$,所以只有当 $X_{L0} = X_{C0}$ 时,才可能有 $Z_0 \rightarrow \infty$,发生并联谐振。实际上由上述计算可以看出: $X_{L0} = 0.2 \text{ M}\Omega \gg X_{C0} = 0.005 \sim 0.0041 \text{ M}\Omega$,所以 $Z_0 \rightarrow \infty$ 是不可能出现的,因此也不会发生并联谐振过电压。

3.2 铁磁谐振过电压

在发电机电压系统中,电压互感器的绕组在某些激磁电压作用下,其激磁阻抗 X_{bv} 有可能与发电机的每相对地容抗 X_{C0} 发生谐振,引起过电压。但是产生谐振需要两个条件,一是有足够的激励电压,使电压互感器饱和, L 发生变化;第二是 L , C 参数匹配,构成谐振条件。

图5为确定谐振区的典型曲线。在图5中, X_{bv} 为电压互感器在额定电压下的激磁感抗, E_x 为相电压, X_{C0} 为定子绕组单相对地容抗。



1 为1/2次谐波的谐振区;2 为基波的谐振区;3 为三次谐波的谐振区

图5 不同谐振的谐振区

Fig. 5 Resonance area of different resonance

由图5可以看出:当 X_{C0}/X_{bv} 小于0.01或大于1.2时,不会发生基波及高次谐波谐振过电压。

因为 $X_{C0} = 14.7 \text{ k}\Omega$,单相电压互感器的激磁绕组阻抗 $X_{bv} = 1.7 \text{ M}\Omega$,所以对一个电压互感器而言 $X_{C0}/X_{bv} = 0.0087$,不会发生谐振过电压。

由图1可知,大坝发电厂发电机机端有三组电压互感器,只有两组高压绕组中性点接地,一相两台并联对地的感抗为 $850 \text{ k}\Omega$,所以 $14.7/850 = 0.0174$ 可能产生1/2谐波谐振。但谐振需要的激励电压很大(约为 $6 \sim 7 \text{ kV}$),所以产生谐振的机率很小。

3.3 发电机系统中的断线过电压

引起断线的原因很多,有机械断线、熔断器熔断、断路器非同期分、合闸等。单元接线的发电机系统无断路器,不存在非同期分、合闸问题。母线部分均被封闭,机械断线可能性很小,唯一可能的是一相电压互感器的熔断器熔断。

分析及计算表明,由于电压互感器的对地电容很小(一般只有几十个皮法),故不会造成谐振,从而电压互感器熔断器熔断不会引起过电压。

4 发电机中性点经消弧线圈补偿接地的可行性分析

对于大坝发电厂的300 MW发电机来说,它是采用单元接线,即将发电机与Y_N、d接线的升压变压器组成单元接线,定子绕组对地(对铁芯)为固体绝缘,发电机电压三相系统对地电容对称且不变。具体分析发电机的过电压问题,可以得出:

(1)发电机中性点经消弧线圈补偿接地,可以使单相接地故障电流小于1 A。因此,不可能产生弧光接地,可以消除弧光接地过电压。

(2)由于发电机三相对地电容值基本相同,中性点工频位移过电压值很小,完全不同于三相架空线路的情况。

(3)大坝发电厂发电机组采用单元接线,发电机电压系统三相对地电容是固定不变的,不像电网那样,因线路的停送电而改变三相对地电容的大小,所以发电机中性点经消弧线圈补偿接地,没有必要监视其调谐情况,一经调定后也无需调整其分接头。

(4)对电力系统有严重影响的操作过电压,与发电机中性点的消弧线圈接地无关。被认为是最严重的动态过电压——切断输电线路充电电流的操作过电压,与经Y_N、d变压器连接的发电机的中性点消弧线圈也是不相关的。

(5)通过Y_N、d变压器于系统相连的发电机,其中性点的接地方式与大气过电压对发电机绕组的电压分布无关,这种经升压变传递的充击电压对定子

绕组绝缘的危险很小。

(6)正是消弧线圈的作用,不仅减少了接地电流,而且延缓了故障电压的恢复,有利于大气过电压引发闪络后电弧的消灭。

结合大坝发电厂大型发电机的实际情况,从安全、经济等各方面综合分析,结论是大型发电机中性点以消弧线圈接地为最佳。

5 发电机定子接地故障实例分析

大坝发电厂根据以上的试验结果以及分析结论,在1号发电机实施了中性点经消弧线圈接地的试验,取得了成功的经验。

在2000年7月大坝发电厂1号发电机发生了定子接地故障,定子接地保护发出了接地信号。经检查,发电机电压互感器二次电压为: $U_{AN} = 1.6\text{ V}$; $U_{BN} = 100\text{ V}$; $U_{CN} = 100\text{ V}$; $3U_0 = 100\text{ V}$,发电机尾部电流为 $3I_0 = 0.85\text{ A}$ 。确认发电机定子已经接地,且接地电流只有 0.85 A ,经申请调度后实现了一次及时转移负荷,平稳停机,避免了一次切机事故的发生,对系统和机组本身都没有产生不良影响。

6 结论

经过试验和分析可以得出,大坝发电厂300 MW发电机的中性点经配电变压器接地时,必然导致定子单相接地故障电流的增大(实测值为

3.25 A),为了保证大型发电机组的安全,就必须使定子接地保护动作于跳闸停机,这对于我国电力供需矛盾非常尖锐,系统后备容量不足的现状,特别是宁夏小电网大机组的情况下,不能认为是合理的。而采用消弧线圈补偿接地的方式,可以使接地故障点的电流减少到安全电流以下(实际故障情况下只有 0.85 A)。有效地防止了接地故障发展成相间或匝间短路,使故障点电弧存在的时间大为缩短,重燃的次数也就大为减少,从而使得暂态过电压出现的概率大大降低,特别是在补偿很好时更是如此。同时应该指出:中性点经消弧线圈接地的发电机,在构成无死区的定子接地保护没有任何困难,甚至比其它中性点接地方式的发电机接地保护具有更高的灵敏度。当发电机发生定子单相接地故障时,定子接地保护灵敏动作发出警报信号,值班人员可以迅速报告上级调度,立即转移负荷,实现故障机组的平稳停机,这对系统和机组本身都是有利的。

参考文献:

- [1] 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.

收稿日期: 2001-12-11

作者简介:

王怀智(1958-)男,工程师,从事继电保护应用工作。

Application of 300 MW generator neutral point adopting arc suppression coil compensation ground in Daba power plant

WANG Huai-zhi

(Ningxia Qingtongxia Daba Plant, Qingtongxia 751607, China)

Abstract: Combined with the test situation of stator ground in Daba plant and examples of stator ground fault, this paper discussed the im possibility of three inner overvoltages caused by adopting arc suppression coil. The feasibility of compensation ground adopting arc suppression coil was illustrated in this paper, too.

Key words: Daba plant; generator neutral point; arc suppression coil; ground

(上接第69页)

Discussion on measures to improve the reliability of relaying auxiliary device

LIN Xiao-dong¹, WANG Yu-jie², LIANG Jia-sheng³

(1. Shantou Electric Power Bureau, Shantou 515041, China; 2. XJ Electric Co., Ltd, Xuchang 461000, China

3. Yishui Electric Power Bureau, Yishui 276400, China)

Abstract: Relaying auxiliary device is playing an important role in relay protection in electric power system. So the action reliability of it is paid great attention. Main reasons may affect the action reliability of relaying auxiliary device are mentioned in this paper. Combined with the design requirement about circuit of auxiliary device, some measures to improve the reliability of auxiliary device are provided.

Key words: auxiliary device; reliability; measure