

发电机定子接地保护应用及实例分析

邹海龙, 严鹏飞

(华能沁北发电有限责任公司, 河南 济源 459012)

摘要: 简要阐述了发电机定子接地保护原理, 通过具体实例分析发电机定子接地保护动作后故障点查找以及事故原因的判断, 对同类型发电机组的安全运行和事故处理有较大的借鉴意义。

关键词: 发电机; 定子接地保护; 注入式定子接地保护; 实例分析

中图分类号: TM 862

文献标志码: B

文章编号: 1674-1951(2018)06-0051-03

0 引言

大型汽轮发电机在电力系统中地位较重要, 发电机是电厂的核心部分, 定子结构复杂, 不易检修, 对于发电机定子的保护尤为重要。由于发电机内部故障中发生定子单相接地故障的比例较高, 约占定子故障的70%~80%^[1]。一旦定子发生单相接地故障, 若保护动作不及时可靠, 接地弧光过电压可能导致发电机其他位置绝缘破坏, 严重时还会演变成相间或匝间短路故障。国家相关规程规定, 容量为100 MW及以上的发电机应装设100%定子接地保护。

发电机定子接地是指发电机定子绕组回路及与定子绕组回路直接相连的一次系统发生的单相接地短路, 而发电机定子接地保护是反映上述单相接地故障的主保护。本文通过实例的分析, 在发生发电机定子接地保护动作后, 如何排查故障点, 如何结合各参数分析故障原因, 为故障点排查节省时间, 同时积累经验。

1 发电机定子接地保护原理

目前大容量汽轮发电机组广泛采用的是双频式100%的定子接地保护及外加电源注入式定子接地保护。发电机定子100%接地保护就是对发电机定子发生接地故障时进行无死区的保护, 采用基波零序电压式定子接地保护加三次谐波电压定子接地保护, 通过这两种保护相互配合, 达到大容量机组100%定子接地保护要求。注入式定子接地保护, 是在发电机中性点接地变二次侧注入一个方波电源, 当发电机定子接地时, 通过参数的变化, 反映出发电机定子发生接地故障。

1.1 双频式100%的定子接地保护

由基波零序电压式接地保护与三次谐波式接地

保护构成, 能检查出发电机内部的任何点的接地故障。是利用发电机固有的电势在定子接地故障时所产生的相应的电流或电压作为保护的動作參量^[2]。

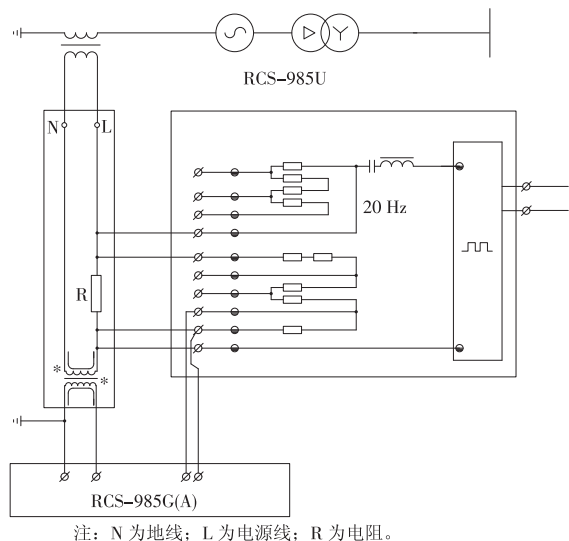
(1) 基波零序电压定子接地保护。基波零序电压能够保证发电机在85%~95%的定子绕组单相接地保护, 基波零序电压依靠发电机零序电压大小来判断定子绕组是否接地。基波零序电压保护可反映 α 大于10%以上范围的定子绕组接地故障, 且故障点越远离发电机中性点时基波零序电压动作量越大, 从而保护灵敏度越高。其中 α 为发电机定子绕组发生单相接地时, 接地点距离中性点的距离。基波零序电压保护设两段定值, 一段为灵敏段, 另一段为高定值段。灵敏段基波零序电压保护动作于信号时, 其动作方程为 $U_{0n} > U_{0zd}$, 式中: U_{0n} 为发电机中性点零序电压; U_{0zd} 为零序电压定值。灵敏段动作于跳闸时, 还需经主变高压侧零序电压闭锁, 以防止区外接地故障时定子接地基波零序电压灵敏段误动^[3]。高定值段基波零序电压保护, 动作方程为 $U_{0n} > U_{0hzd}$, 保护动作于信号或跳闸均不需经主变高、中压侧零序电压辅助判据闭锁。

(2) 发电机正常运行时, 通过绕组对地分布电容和发电机所连设备对地电容, 形成机端侧对地三次谐波电压 U_{3T} 和中性点侧对地三次谐波电压 U_{3N} 。当靠近中性点附近发生接地故障时, U_{3N} 减小, U_{3T} 增大。故障点越靠近中性点, 变化的越明显。因此, 利用三次谐波电压与相对变化的特征可以构成定子绕组接地保护并有效地消除中性点附近的保护死区, 目前三次谐波零序电压保护均动作于信号。

1.2 注入式定子接地保护

发电机注入式定子接地保护可单独实现发电机100%定子接地保护, 注入式定子接地保护是由RCS-985U低频注入电源和RCS-985保护装置两部分共同实现。RCS-985U定子接地保护辅助电源装置提供外加低频电源, 将低频电压电流信号注入

发电机定子绕组中。RCS-985 发电机保护装置检测注入的低频电压、电流信号,当发电机定子绕组发生接地故障,注入的电压、电流信号随之发生变化,RCS-985 可准确计算出接地故障电阻的阻值,完成注入式定子接地保护^[4]。发电机注入式定子接地保护示意如图 1 所示。



注: N 为地线; L 为电源线; R 为电阻。

图 1 发电机注入式定子接地保护示意

当发电机定子绕组对地绝缘正常时,注入到定子绕组的低频电流主要是流过定子绕组对地电容的电容电流,当对地绝缘受到破坏,出现接地故障,注入的电流将流过接地故障点,出现一部分电阻性电流。保护装置检测注入的低频电压、电流,通过导纳法可准确计算出接地故障的过渡电阻阻值,计算的电阻阻值与定子绕组的接地故障位置无关,可以反映发电机 100% 的定子绕组单相接地。

2 发电机定子接地的原因

(1) 发电机本身制造问题,发电机槽楔松动切割线帮等。

(2) 定子绕组绝缘损坏。除了绝缘老化外还有各种外部原因引起绝缘损坏。如定子铁芯叠装松动、绝缘表面落下导电性物体(如铁屑)、绕组线棒在槽中固定不紧等,在运行中产生振动使绝缘损坏;制造发电机时,线棒绝缘留有局部缺陷,运转时转子零件飞出,定子端部固定零件帮扎不紧,定子端部接头开焊等因素均能引起绝缘损坏。

(3) 检修工艺存在问题,如:定子冷却水管接头漏水、压线板松动等。

(4) 运行中定冷水有杂质,堵塞在发电机定子冷却水管内,导致定子高温后绝缘损坏发生接地故障。

(5) 因为发电机本体外与其相连的定子回路故障导致发电机定子接地保护动作,如:发电机封闭母

线绝缘存在问题、发电机出口电压互感器(PT)等构件存在问题。

(6) 发变组单元接线中,励磁变高压侧、主变低压侧或高厂(公)变高压侧绕组内部发生单相接地,都可能引起定子接地信号。定子接地保护零序电压取自发电机机端 PT 开口三角时,若 PT 一次保险熔断,也会发定子接地信号。

3 实例分析及故障点排查

3.1 某厂 #1 发电机异常跳闸分析

2016-07-30 T 08:55, 分布式控制系统(DCS)监控画面显示“#1 发电机故障 1,2”报警和“#1 发电机定子接地 1,2 跳闸”报警,检查 #1 机组跳闸,各设备联动正常。检查 #1 发电机保护动作情况,发变组保护 A、B 柜均来“定子零序电压高段跳闸”报警,发变组保护 A、B 柜显示定子接地保护零序电压均达到 109 V,定子接地零序电压高保护定值为 34.5 V,动作值远高于保护定值,保护正确动作。

查询 #1 发变组故障录波上面的故障录波曲线,可以发现在 08:55:50。825 发电机出口 A 相电压由 57.4 V 降低至 0 V,发电机出口 b、c 相电压有所升高,同时发电机中性点出现零序电压和零序电流,08:55:51。875 达到发电机定子接地零序电压保护值延时动作,08:55:53。325 待发电机电压电流衰减至后期,可以发现发电机出口电压 A 相值恢复,发电机零序电压和电流恢复至零,说明接地点并非死接地。

定子零序电压接地保护动作,可以排除中性点附近无故障,发生在机端几率较大,并通过调取相关曲线分析,故障瞬间发电机振动或本体未见明显异常,可以排除发电机本身内部故障接地。通过故障录波和其他现象初步判断在发电机 A 相机端及连接部位发生了接地故障。

检查发电机出口,PT 一次本体和二次保险及接线均正常;检查发电机检查封闭母线本体未见明显异常,未见明显进水漏水痕迹,微正压装置运行正常,封闭母线外观未见明显灼烧痕迹;从观察窗对发电机出口断路器 01 进行外观检查,三相电容外观无裂纹及漏油情况。

测量发电机定子绝缘,电阻为 440 M Ω ,与上次机组启动前测量值相比,绝缘电阻偏低(上次发电机定子绝缘电阻 1.3 G Ω)。随即拆除发电机出线 A 相软连接并作绝缘隔离,拆除励磁变高压侧引线,A 相封闭母线带出口断路器进行耐压试验,试验电压 20 kV,试验正常;推入发电机出口 A 相 3 只 PT、发电机出口 A 相避雷器,再次进行耐压试验,试验电压 1.5 kV,试验正常。

在准备恢复励磁变连接 A 相高压引线过程中,发现励磁变 B 相绕组上方电流互感器接线端子导线侧有电弧烧灼痕迹,放电拉弧部位正上方柜体处有灼伤痕迹,确认故障点位于此处。励磁变高压侧为三角形接线,A 相至 B 相电源连接线接入此电流互感器,电流互感器至 B 相变压器绕组连接引线从接线端子根部断裂,回路虚接打火产生弧光放电,发生 A 相接地故障。发电机定子接地保护正确动作(由于其与发电机定子回路相连,在发电机定子接地保护区域内)。故障点详细位置如图 2 所示。

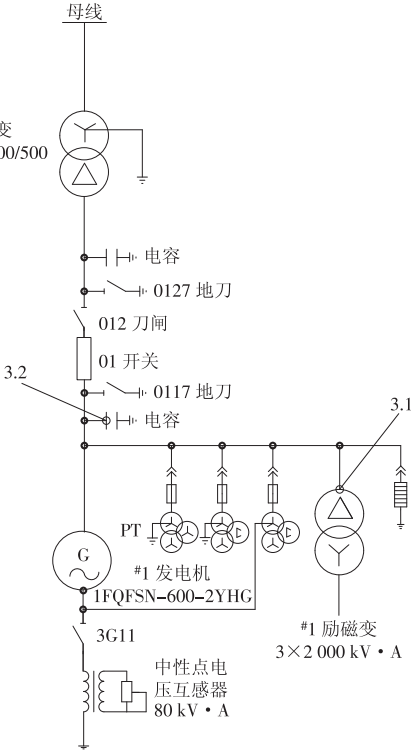


图 2 #1 发电机定子一次接线示意

3.2 某电厂 #1 机组定子接地保护动作分析

2017-03-2 T 20:30:22, #1 发电机出口开关、#1 机灭磁开关突然跳闸,汽轮机主汽阀门关闭,锅炉主燃料跳闸(MFT),汽机电液控制系统(DEH)事故追忆记录系统(SOE)首出报文为“#1 发电机跳闸信号”。#1 发变组保护 A 屏、B 屏动作报告均显示发电机定子零序电压保护灵敏段跳闸出口(零序电压保护定值 8.05 V,延时 0.5 s)。

对 #1 发电机定子回路进行如下检查:测量 #1 发电机定子回路绝缘电阻和吸收比合格: $R_{60}/R_{15} = 490\text{ M}\Omega/230\text{ M}\Omega = 2.19$,发电机本体和直连的出线罩内局部放电装置正常。测量发电机出口各组 PT 绝缘电阻均在 200 MΩ 以上,数值正常。组织对发电机跳闸前故障录波器的波形进行分析,20:30:22 保护启动跳闸时,发电机 A 相电压降低(56.4 V),B/C 相电压略有升高(分别为 63 V,57.7 V),中性点

零序电压 8.38 V,与发电机保护 A、B 柜故障记录波形一致,确认双套发电机定子接地保护正确动作。从保护装置动作报告初步判断 #1 发电机定子回路有非金属性接地现象。

发电机出口断路器三相均开盖检查,发现 A 相断路器发电机侧断口电容有渗液,且该电容箱体较其他两相温度偏高,A 相断路器壳体内部清洁,未见渗漏痕迹。发电机出口断路器的 A 相发电机侧电容器电容值为 0.334 μF(额定为 0.13 μF),绝缘电阻为 330 MΩ,该电容器电容量发生明显变化。测量备用电容器电容值为 0.13 μF,绝缘电阻为 20 GΩ,测量结果合格,将出口断路器 A 相发电机侧电容器进行更换,机组启动后正常。

原因判定为 #1 发电机出口断路器发电机侧 A 相电容器渗液,A 相电容值发生变化,三相电容不一致导致发电机机端三相电压不平衡形成零序电压,定子接地保护正确动作。

3.3 某电厂 #5 机注入式定子接地保护动作事件

2014-04-04 T 3:42, #5 机组负荷 492 MW,发电机定冷水电导偏高,需要用凝补水进行定冷水补排工作,因补排前机组循环水串至凝补水内,进而在进行定冷水补排过程中循环水串入定冷水系统,导致定冷水电导异常升高(画面显示 10 μS/cm,实际已满量程就地实测约 60 μS/cm),#5 发电机保护 A 柜注入式定子接地保护动作机组跳闸。保护 B 柜基波零序电压保护和三次谐波电压保护均未启动。

原因分析为定冷水电导异常升高,装置所测发电机定子对地电阻已低至 249.7 Ω(正常值为 3 000 Ω,此为二次值,接地电阻折算系数为 12.04,折算成一次值为 3.006 kΩ,测量电阻跳闸定值为 3 kΩ),已达到保护动作设定值,保护动作正确,机组跳闸。

4 结束语

本文阐述发电机定子接地保护的构成和原理、通过发电机定子接地保护动作实例、分析、判断、查找故障点位置。发电机定子接地保护不仅能反映发电机定子绕组本身的接地故障,而且对于发电机出口的设备(如出口 PT、机端励磁变、发电机出口封闭母线等)发生接地故障也能正确地反映,而且这些元件、设备没有单独配备零序接地保护,只能依靠发电机定子接地保护实现。有些发电机定子接地保护动作并非全是真实接地引起,而是其它因素引起的,例如定冷水电导异常时,计算测得的发电机定子对地电阻降低同样保护动作。本文所提出的发电机定子接地保护应用及实例分析值得学(下转第 59 页)



图 1 轴瓦下瓦较大面积、较严重的摩擦划痕



图 2 轴颈上存在多道划痕

重,轴上划痕很多,最严重的一道划痕宽约 6 mm,深约 1 mm,整个圆周方向均如此。运行期间,特别是风机电机启停初期,浮动密封环^[2]容易发生偏斜,胶木未回到原位置,对轴产生摩擦,进而形成沟槽。

(4)电机驱动端轴瓦最里侧(靠近电机转子)盘根压盖与轴接触处有严重的划痕,轴表面出现严重的过热变色(如图 3 所示)。

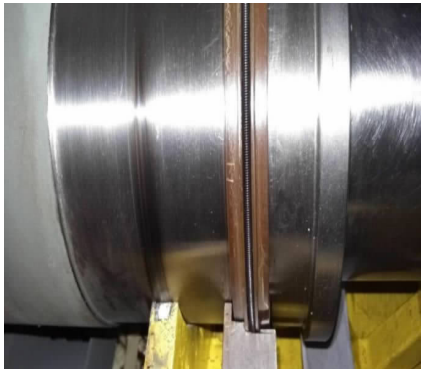


图 3 轴上划痕,过热变色

(上接第 53 页)习借鉴。

参考文献:

[1]党晓强,邵能灵,王海田,等.大型汽轮发电机定子单相接地的继电保护评述[J].电力系统保护与控制,2010,38(2):131-135.

[2]陈俊,陈佳胜,张琦雪,等.超超临界机组发电机定子和转子接地保护方案[J].电力系统自动化,2008,32(20):101-103.

[3]贺家李.电力系统继电保护原理[M].北京:中国电力出版社,2010.

6 处理结果

技术人员针对发现的问题,采取了相应的处理措施。

(1)现场重新刮瓦、研磨、修整油舌并增大瓦口间隙^[3]。电机轴径为 200 mm,顶部间隙应为轴径的 1.0/1 000~1.5/1 000,即 0.20~0.30 mm,单侧间隙为 0.10~0.15 mm。

(2)调整浮动环密封结构的弹簧紧力,待有机会再进行密封形式改造。

(3)调整电机驱动端轴瓦盘根压盖与轴的同轴度,保证两者圆周方向间隙均匀,消除硬接触部分。

(4)对电机轴瓦进油节流阀板上的孔进行扩孔,孔径由 1 mm 扩大到 3 mm,不仅增大了节流阀的调节裕量,增加了进油量,还可避免人为误操作关闭节流阀而导致断油烧瓦现象的发生。

一次风机再次启动后,电机驱动端轴瓦温度维持在 60℃以下,自由端轴承温度维持在 55℃以下,风机振动、声音、电流等参数均正常。经过长时间观察,电机轴瓦温度高的现象消除,消除了重大设备隐患,为机组顺利通过 168 h 满负荷试运行奠定了坚实的基础。

参考文献:

[1]戚文光.电机轴瓦磨损分析[J].华中电力,2007,20(2):60-61.

[2]蒋利军,廖甘标.大型高速电机油封泄漏的改造[J].机械,2008,35(4):73-75.

[3]陈刚.大型电机主轴轴瓦动压润滑条件下的特性分析[J].机械工程师,2015(11):93-94.

(本文责编:刘芳)

作者简介:

陈建飞(1981—),男,宁夏银川人,工程师,从事电厂锅炉检修维护工作(E-mail:cccfei@163.com)。

版社,2010.

[4]高磊,胥亚宁.20 Hz 注入式定子接地保护在 700 MW 水轮发电机组中的应用[J].水电站机电技术,2010,27(1):35-39.

(本文责编:齐琳)

作者简介:

邹海龙(1982—),男,河南洛阳人,工程师,从事华能沁北发电有限责任公司电气专业管理工作(E-mail:zh36369495@sina.com)。