

大坝电厂 30 万 kW 汽轮发电机定子绕组内部故障 主保护技改的可行性探讨

王豫川

(宁夏电力公司中心调度所,宁夏 银川 750001)

摘要: 针对大坝电厂的实际情况,提出 30 万 kW 汽轮发电机内部故障主保护技改的一、二次改造方案。

关键词: 汽轮发电机; 定子绕组; 内部故障; 主保护

中图分类号: TM772 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2000)07-0016-04

1 前言

宁夏大坝电厂四台 30 万 kW 汽轮发电机全部为上海电机厂生产的 QSF-300-2 型双水内冷机组,机端电压一期的 #1、#2 机组为 18kV,二期的 #3、#4 机为 20kV。发电机中性点侧每相引出两根共六根出线,加机端每相引出线三根封闭导线共九根。中性点侧六根铜管出线终端在发电机外小室内通过铜槽水平并接经配电变压器接地。1990 至 1997 年陆续投产以来内部故障主保护均按原设的双套传统纵差保护相间故障、单一纵向零序电压针对匝间故障运行。定子接地保护均为基波与三次谐波电压构成的 100%接地保护。如图 1 所示。

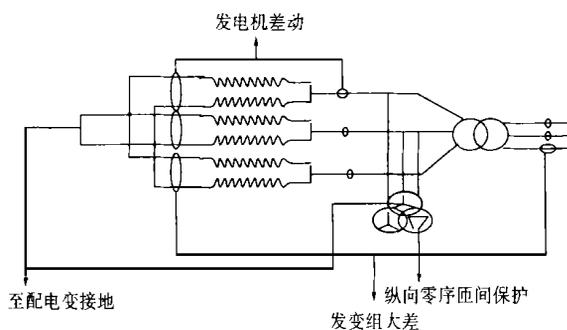


图 1

其中一期的 #1、#2 机原为整流型保护, #3、#4 机为集成电路保护但仍维持原配置运行。由于一期保护本身存在较多的缺陷,出现过多次的不正确动作。该设备运行维护较困难和繁杂,维护校验时间较长,已到了服役年限,且其性能确已不能适应电网安全运行的需要。为此对发变组保护予以改造。

近十年的运行中纵向零序电压型匝间保护曾多次误动,后经抬高动作值降低灵敏度、增加 0.3 s 的

延时、一次电缆改为铠装屏蔽电缆,二次电缆加屏蔽才使该保护不致误动,但如果出现真正的短路匝数较少的匝间故障时能否正确动作则很难保证,以后的计算也证实了这一问题。定子接地保护误动次数也较多,发变组大差动保护也曾误动过。在 1994 年,大坝电厂 #2 机曾出现接头开焊而没有任何主保护去快速可靠的切机从而造成定子线棒烧毁的情况。原设的保护配置只对相间故障实行了双重化,对匝间故障配置了有死区的单重保护,对开焊故障无保护。因此,在确定对发变组保护予以改造的同时也对定子绕组的主保护配置应重新综合考虑。同时,由于发变组特别是发电机内部故障(包括定子接地保护)出现时现场无真实的可靠反映故障的录波和明确的数据,使得故障后分析较为困难,造成事故原因难以查明,掩盖了故障的真实现象,不利于安全运行。因此,也应考虑装设反映发电机内部故障特征量的专用故障录波装置。

2 定子绕组内部故障主保护最佳配置方案的选择

发电机内部故障主保护配置方案的选择应综合实际的机组特点和可能出现的各类内部故障细致而全面考虑,不能简单的套用。同时需要科研、制造、设计、安装、管理、电厂等多个部门通力合作进行多项目工作才有可能选择完善和最佳的保护配置投入运行。

2.1 发电机定子绕组的结构特点及运行情况

大坝电厂 30 万 kW 汽轮发电机为双水内冷超临界值机组,定子绕组采用整数槽、双层短距迭绕组,每极每相槽数为 9 槽,每相两分支,定子槽数为 54 槽。其中对于 A、B、C 三相不同相、同分支同槽数为 30 槽,约占总槽数的 55%;不同相、不同分支同槽数为零;同相、不同分支同槽数为 24 槽,约占总槽数

的 46%。#1、#2、#3 机组因各种原因至今已换过七次定子线棒。1999 年 8 月曾因冷却水管堵塞造成一台机 A 相第八根线棒在槽内的绝缘烧毁,同槽的 A 相另一分支第四根线棒的绝缘也烧毁但还未发生短路,运行人员手动及时停机更换绝缘。由于运行中缺少各种故障记录和手段,许多情况不能准确分析和下结论,所以没有发生明确的匝间短路故障。但 1994 年 #2 机开焊烧线棒时确无主保护动作。

2.2 发电机定子绕组内部故障的计算分析

在确定改造前,与清华大学王维俭、王祥珩等专家合作对该类机组可能出现的各类内部故障进行了详细的计算并对传统纵差、单元横差、不完全纵差、裂相横差、纵向零序电压保护进行了灵敏度核算。根据机组的实际情况,确定匝间短路最小短路匝为 1 匝(11%),最大短路匝为 9 匝。相间故障最小短路匝为 5 匝,最大短路匝为 13 匝。计算结果见表 1。

表 1

故障类型	故障相	完全差动		不完全差动		裂相横差		单元横差	纵向零序
		故障相	非故障相	故障相	非故障相	故障相	非故障相		
相间	AB 相 5 匝	17.28	0	11.86	0.71	18.51	1.42	5.57	1.47
	AB 相 13 匝	9.2	0	12.85	1.54	7.31	1.92	3.06	1.01
	A 相 1 匝	0	0	3.75	0.75	7.14	1.60	5.12	0.22
匝间	A 相 3 匝	0	0	10.00	0.29	21.53	0.57	38.81	0.34
	A 相 1 匝	0	0	10.76	0.29	80.06	1.79	9.79	2.28
开焊(联网)	额定负荷	0	0	12.10	5.96	14.82	49.53	61.6	2.78
	50% 负荷	0	0	6.07	11.45	12.13	24.83	30.89	1.48

(注:非故障相灵敏度按最低一相计,“0”表示不动作)

从理论计算结果和实际分析来看,对于相间故障而言,除了纵向零序保护不能可靠动作外,其它各类保护均能可靠动作,但应装设三相(单元横差除外)。

对于匝间及开焊故障而言,单元横差、不完全纵差、裂相横差均能可靠动作并有较高的灵敏度;纵向零序保护不能可靠动作且灵敏度较低;传统纵差不动作。

由此可以准确地说明以下几个问题:

1) 单元横差保护是发电机内部故障的首选主保护。

2) 其次应选用裂相横差原理的保护作为发电机内部故障的第二套主保护。

3) 不完全差动保护可以成为发电机内部故障的主保护。

4) 传统纵差保护只能作为发电机相间故障的保护。

5) 单一的零序电压型匝间保护不能成为发电机内部故障的主保护,它有相当的动作死区。如按 2V 整定,则保护由于干扰等多方面原因易于误动。如按高于 3V 整定,且带有延时则会大幅度降低该保护的灵敏度且使发电机发生严重的匝间故障后不能迅速切除故障,起不到保护作用。现电厂采用 0.3 s 的延时虽然躲过了一些暂态的干扰,且不论其定值的大小,但其中性点的连线直接成为发电机定子绕组的一部分,其中还包括机端的专用 PT 一次线圈部分。这些部分一旦出现接地,则直接表现为发电机定子绕组尾部接地。采用了铠装电缆后,原目的是增强抗干扰的能力,但却增加了接地故障的几率。发电机尾部的接地故障接地保护本身的灵敏度就不高,如电缆出现故障,则其灵敏度会很低而使保护拒动,使发电机带病运行,易引发发电机其他类型严重的故障。

2.3 匝间故障的可能性

2.3.1 槽内故障的可能性

虽然现在的制造工艺上有了长足的进步,采取了多种技术措施和试验检测手段,但现场运行维护过程中特别是大修过程中,现场的维修、安装设备及工艺水平较低,不可能百分之百的做到没有失误;而大多数事故都是人为疏忽的原因造成的。现电厂采用 0.3 s 的延时虽然躲过了一些暂态的干扰,且不论其定值的大小,但其中性点的连线直接成为发电机定子绕组的一部分,其中还包括机端的专用 PT 一次线圈部分。这些部分一旦出现接地,则直接表现为发电机定子尾部接地。采用了铠装电缆后,原目的是增强抗干扰的能力,但却增加了接地故障的几率。发电机尾部的接地故障接地保护本身的灵敏度就不高,如电缆出现故障,则其保护灵敏度会很低而使保护拒动,使发电机带病运行,易引发发电机其他类型严重的故障如两点接地、匝间、相间故障等。另外,对于大坝电厂已确定并已改发电机中性点接地方式由经配电变高阻接地为经消弧线圈欠补偿方式接地,目的是降低接地电容电流,使之在安全电流以下,定子接地保护改投信号以解决该保护经常误动和不必要的切机问题。相应的使同相同槽间的线棒

因各种原因首先发生接地进而发生匝间故障的可能性增加。从各种角度及实际的情况来看槽内的匝间故障虽然发生的几率低于接地和相间故障,但不是绝对不可能发生的。

2.3.2 端部匝间故障的可能性

各方面的资料 and 情况表明发电机定子绕组端部是事故的多发地带,如外部故障发生与切除时端部较大的电磁应力及振动造成绝缘破坏,端部漏水、漏油污染引起绝缘破坏;异物磨损绝缘;检修工艺不良等引发各种故障。虽然相间及接地故障居多,但直接引发匝间故障的情况也存在。同样,没有绝对的事实说明匝间故障在端部不能首先发生。

综上所述,因为不同相之间的同槽数为30槽,占总槽数的55%,同相不同分支间同槽数为24槽,占总槽数的46%。且实际的机组与多分支水轮发电机绕组结构不同,不存在一槽内既有同相又有不同相线棒的情况,匝间故障不会因为匝间绝缘为对地的两倍而不发生。认为发生匝间故障必然先发生相间故障的认识不是绝对的;同样,认为匝间故障不容易出现而不装设灵敏度较高的匝间保护的观念也是不科学的。特别是大机组,一旦出现匝间故障如没有高灵敏度、高可靠性的保护快速切除故障,其危害是相当大的,不止是烧毁一两根线棒的问题。作为保护改造,已发现了的缺陷就应避免再次失误。

2.4 开焊故障的可能

虽然目前大型汽轮发电机定子绕组的焊接采用了银铜焊接结构和工艺,具有焊接强度高,抗震性能好等优势,以及其他试验、检测手段使得开焊故障的几率较小。大坝电厂#2机曾出现的接头开焊造成定子线棒烧毁的情况,单纯从占该厂更换定子线棒总数的14%来看并不少,虽然这个数字并不具有普遍的意义,但定子绕组开焊的现象仍然存在,并不能忽略不计。

2.5 定子绕组内部故障主保护合理的配置方案

结合理论计算分析和大坝电厂的30万机组其尾部的引出线是六根,可以安装单元横差的实际情况,并考虑其他因素的影响;发电机内部主保护按大机组主保护加强、双重化,简化后备保护的原则和发展趋势,应采用单元横差保护与不完全差动保护共同配置。替代灵敏度较低、可靠性较差的机端零序电压型匝间保护、功能单一的完全纵差保护。配置如图2所示。

裂相横差相对于单元横差一次、二次改动较多,相对复杂一些,且二者性能相似,且均不能保护发电

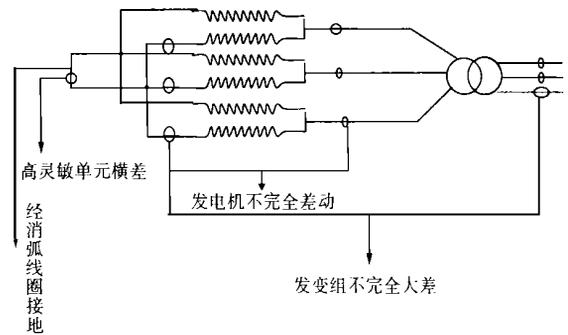


图2

机引线。但由于发电机至变压器之间为封闭母线,真正的相间故障的机会很少,当然人为误操作除外。为简化设计和配置便于改造,所以首先采用单元横差为第一主保护。为防止发电机出口封闭母线至升压变压器之间可能出现的相间故障,同时消除保护可能出现的死区,应配合使用不完全差动保护使得发电机定子绕组各种内部故障有三套的冗余度,兼顾变压器有两套相间故障的冗余度。从而做到发电机定子绕组完全彻底地处于可靠的保护下安全稳定运行。

3 定子绕组内部故障主保护技改的有利条件

3.1 本次待改的发电机中性点引出线已经是六根,而不是通常的三根。发电机内部相引出线的CT已经安装在发电机和发电机小室外侧平台封闭母线上,不存在引出端子间绝缘距离不够的问题,已经具备了安装单元横差的基本条件。不需要改造发电机的内部结构,也不破坏发电机原有的特性参数。只需要将原有的一根中性点并接的铜槽钢分为上下两根,中间加一根中性点连线。发电机中性点连线可选环氧树脂浇注的小型单匝母线式CT。二次回路重新引出一根两芯屏蔽电缆到保护盘上即可。改造后的发变组保护为微机型的,只需增加相应的出口和信号回路,增加一套保护软件。目前,大坝电厂的#1机已改为微机保护,相应的软件及二次回路已完成,由于其它的原因还未进行一次设备的改造。

3.2 发电机小室的空间和位置基本上可以满足改造的需要。特别是将原有体积较大的传统纵差所用的CT去掉后,改用变比为原来一半的、体积较小的双绕组CT后可以满足绝缘距离要求。改造需要将原有的两分支引出线中的一个分支在水平方向上穿过CT,另一分支抽出,跨越CT,接于中性点的槽

钢(按各一、二分支分开)。二次回路不变仍可使用原传统纵差的所有回路包括保护本身,只更改相应的软件中基准值和变比,修改定值即可,不需要另加保护。

3.3 现在发变组微机保护已成熟地应用于各个地方,使得保护装置改造较为容易,周期缩短。其强大的计算功能使得谐波滤波比可以做的很高,可以大幅度提高单元横差的灵敏度并提高保护动作的可靠性。

3.4 在清华大学王维俭、王祥珩等专家的帮助下,对大坝电厂四台 30 万 kW 汽轮发电机进行了各种可能出现的内部故障计算,初步掌握了该机组内部故障的特性和规律,对运行和整定计算有明确的指导意义。使定子绕组内部故障主保护技术改造有了可靠的理论基础,而不是简单的估计和粗略的定性分析。

4 定子绕组内部故障主保护技改存在和需要解决的问题

4.1 在对待高灵敏单元横差及不完全纵差在大机组使用上存有不同的认识。我认为这是认识习惯的问题,而不完全是技术上无法解决的问题,也是应该首先解决的困难。

习惯之一就是如何看待这两种保护的保护功能。一部分人第一印象就是这两种保护是专门保护匝间和开焊故障的,忽略了它们对相间故障也有保护能力;忽略了它们实际上是原理简单而可靠的、保护性能全面的保护。

习惯之二是一方面不否定定子绕组匝间和开焊故障存在的可能性和严重的危害性,另一方面又认为定子绕组匝间,特别是开焊故障是相对接地和相间发生较少的故障而带有侥幸和冒险行为,寄希望于故障不一定凑巧发生于现有保护的死区内而忽略了事故往往是出乎人们意料的事实。

习惯之三是使用后出了一些问题不加分析或因为许多现象未捕捉到,无有效的事故记录手段,所以只好将问题归结于新的保护上,习惯地套用原有的配置模式和保护装置。

4.2 目前高灵敏单元横差在 30 万 kW 汽轮发电机的应用还是个空白,没有相应的运行经验。其中主要包括发电机外部故障整个过程及其他异常工况下,中性点连线上不平衡电流值的变化规律和谐波成份及其量值的变化规律还不十分清楚掌握。同时发电机内部故障的工程实用计算方法还不成熟,计

算误差与实际有较大的误差,不易明确地取舍定值及灵敏度,从而限制了高灵敏单元横差的应用。希望有关部门组织研究、设计、制造、运行等部门对此深入地研究,或更加明确相同类型机组内部故障的特征及量值变化规律,以便于高灵敏单元横差、不完全差动保护投入运行;实现发电机内部故障的多重化保护,提高保护动作的可靠性,避免恶性事故的发生,提高经济效益。

4.3 发电机即使是尾部结构外的改动也不是十分容易的事,需要电机制造厂的大力合作和帮助。发电机小室内供直接施工的空间有限,需要将引线垂直段固定钢架重新搭架,分开绝缘支柱,并改原单层水平排列为双层交错排列。控制接触电阻并进行两分支引线的参数平衡性测试,保证对称性,减小中性点连线上的不平衡电流。

4.4 不完全差动保护的尾部 CT 与机端、主变高压侧 CT 特性参数匹配也需认真考虑和选择,如无定型、定标产品仍需制造厂的合作。

4.5 因发电机小室的空间限制及费用考虑,要求两套不完全差动保护即发电机、发变组不完全大差共用一双绕组 CT 在同一分支上时对保护运行会有何不利影响仍需要分析考虑。

4.6 发电机尾部虽已引出了六根引线,但尚不完全了解其内部引出端之间的绝缘要求是否满足,如不够,采用其它形式的引线和绝缘材料,这是在今后明确的工作之一,同样需要制造厂的协助。

5 结论

对于大坝电厂 30 万机组而言,内部故障特别是匝间、开焊的保护应加强而不是可有可无,特别是定子接地保护投信号后更是如此。现有配置的发电机内部故障主保护只能解决相间和部分匝间故障,起不到百分之百的保护作用,应尽快地改变现状。

改造的发电机内部故障主保护配置应结合实际的情况和其它条件,确定为单元横差保护及不完全差动保护替代传统纵差保护和纵向零序电压型匝间保护是合理、有效、可行的方案。

单元横差、不完全纵差在发电机中性点引出线有六根,就完全有可能实现改造安装;一次设备的改造大多是发电机外部引线的位置、形状的改变,不涉及发电机内部结构的改变。虽然有一定的困难,但通过各方的努力许多问题是可以解决的。

改造的同时要增加发电机内部故障的专用故障录波,以明确地监视和确定故障 (下转第 30 页)

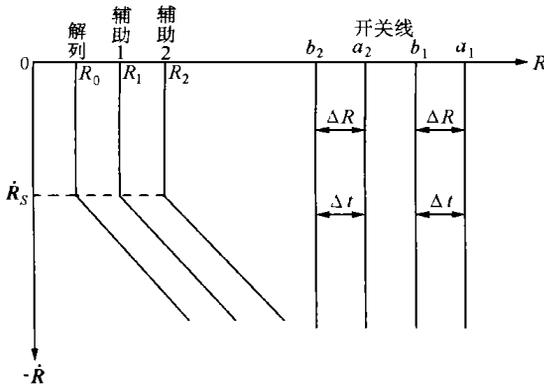


图6

为了区分转换性故障和失步振荡,以避免在发生转换性故障时可能出现误动。当一个转换性故障第一次结束后的视在电阻恰好停留在开关线中间,它与振荡已很难区分,这时另外再加上一道开关线,就能可靠将其屏蔽。

辅助1、辅助2为采取挽救措施预警信号线,当一切措施均无效时,振荡轨迹越过解列线确定为不可恢复性失步振荡,见图6。发电机失步振荡较严重时 R 下降的速度很快,此时 $|\dot{R}|$ 较大在这种情况下应该尽早将系统解列,选取较少的 $|\dot{R}_s|$ 可以

满足这种要求,使辅助1、辅助2的开关线尽早倾斜,失步保护尽早作出判断。

3 运行情况总结

图6中,解列、辅助1和辅助2三条垂线是没有预测作用的失步保护,其动作判据为:

$$R - R_0, R - R_1, R - R_2$$

当 $\dot{R} > \dot{R}_s$ 时,动作判据为

$$(R - R_0) + T\dot{R} > 0$$

上式中 $T\dot{R}$ 项表示失步保护具有预测作用, T 值整定越大,预测作用越强。国内外运行经验表明:失步预测提前量越大,保护装置越可能误动。鉴于我国主设备保护误动作率高,大型发电机失步保护暂不宜有预测功能或预测提前量取较小值。

300MW及以上发电机的失步保护只有在下述情况下作用于跳闸:振荡中心位于发-变组内;失步持续相当长时间或经若干振荡周期,并且检查电流大小和电流变化率为负。

收稿日期: 2000-03-08

作者简介: 徐振宇(1965-),男,博士,从事电力系统继电保护的研究;张学深(1964-),男,硕士,从事电力主设备保护的设计、研究工作。

Microprocessor based out-of-step and out-of-step prediction protection

XU Zhen-yu¹, ZHANG Xue-shen²

(1. Tsinghua University, Beijing 100084; 2. Xuchang Relay Research Institute, Xuchang 461000, China)

(上接第19页)的全过程,以便于分析和查找事故原因。

参考文献:

[1] 王维俭. 电气主设备继电保护原理与应用. 北京: 中国电力出版社, 1996.

[2] 高景德, 王祥珩, 李发海. 交流电机及其系统的分析. 北京: 清华大学出版社, 1993.

收稿日期: 2000-01-29

作者简介: 王豫川(1965-),男,大学本科,工程师,从事大机组保护的研究与应用。

Discussion on the feasibility of innovating the main protection against the internal fault in the stator winding of 300MW turbogenerator in Daba power plant

WANG Yu - chuan

(Ningxia Power Company, Yinchuan 750001, China)

Abstract: The primary and secondary innovation schemes for the main protection against the internal fault in the stator winding of 300MW turbogenerator are proposed in this paper based on the reality in Daba Power Plant.

Keywords: turbogenerator; stator winding; internal fault; main protection Principle and setting of out - of - step protection for high - rating generator