

大型发电机检运中出现的问题分析及处理

兰秀蔚

(江苏利港发电厂,江苏无锡 214444)

摘要:对利港电厂发电机近年来在运行、检修过程中发现有关发电机定子、转子、附件系统出现的问题作分析论述,为大型发电厂发电机的运行、检修、管理工作提供借鉴。

关键词:发电机;定子;转子;线棒;槽楔;氢冷器

中图分类号: TM216

文献标志码: B

文章编号: 1009-0665(2011)02-0022-03

利港电厂共8台发电机组,2台基于GE发电机制造技术的意大利ANSALDO水氢氢350 MW发电机,2台基于西屋发电机全氢冷350 MW发电机,4台基于西屋水氢氢600 MW级汽轮发电机制造技术。在近几年运检过程中,发现一些重要问题,通过及时分析,并采取措施,排除了故障,消除隐患。文章通过对发电检修过程中的定子故障问题、转子故障问题、辅助设备问题进行举例分析,提出提高大型发电机运检水平、促进发电机稳定运行的一些实用办法。

1 发电机定子问题的发现及分析解决

(1) 2010年5月,1号发电机(ANSALDO QFSN-350-2,350 MW,水氢氢冷却,1992年投用)大修,发电机抽转子后,对定子槽楔作松紧检查,通过木槌敲击方法检查,发现发电机共30槽,有21个槽出现不同程度的松动,且在励端汽侧5点钟处槽楔少量黄粉。主要松动的槽楔有励端:1,2,4,10,14,8,5,16,20,21,22,23,27共14槽段加20,30关门槽楔,汽端1,2,4,7,9,10,14,19,26共11槽段,联系试验所测试电机模态试验,并没有发现线棒出现100 Hz附近频率,查以前的大修记录,大修并未发现大面积松动,检查近年发电机负荷,未出现发电机出口短路等故障。检查分析槽楔结构,该电机槽楔结构为斜楔结构,槽楔对于线棒的压紧力靠楔与垫条配合,敲击压紧,安装时只能从汽侧向励侧安装,在汽励两侧端部收口处靠横销、纵销进行锁紧,检查端部各销锁均紧固无松动。分析引起线棒出现大面积松动的原因是铜线棒长年在电力及温度效应引起的滞胀变形所致。参照国内发电机制造相关工艺标准“连续3块槽楔不出现明显松动”为依据,检查出有21槽的部分槽楔需作更换处理。重新测绘,用环氧层压板加工槽楔作更换,并用0.5 mm厚垫板根据松紧程度不同进行垫紧处理,总

共30槽,更换了21个槽的部分槽楔。定子槽楔作处理后,通过敲击方式,逐一检查槽楔,各槽楔紧固情况满足技术标准,由于槽楔作重新紧固处理,为防止因槽楔松紧变化引起定子出现共振点,进行发电机定子模态试验,发电机模态试验与槽楔处理前相似,未出现接近100 Hz频率点。处理后,发电机运行情况良好。本次松动槽楔的及时处理,避免发电机线棒在槽楔出现松动时,与槽壁、上下层线棒间碰磨造成绝缘损伤故障。此台发电机运行近18年后,发现槽楔大面积松动,可见在大修过程,对于发电机槽楔检查不可忽视。

(2) 2010年3月,6号发电机(上汽QFSN-600-2,600 MW,2007年投用)大修。发电机抽转子后,对槽楔波纹板峰谷差测量,按照端部1.0 mm,中间0.8 mm的标准,超过80%的数据不合格。该发电机槽楔结构采用垫条、波纹片压紧方式。核对槽楔数据后,发现槽楔大面积松动,须将所有槽楔全部重新安装紧固处理。将部分垫条、中间段槽楔更换,将波纹板、关门槽楔全部更换、敲紧。处理后,测量槽楔峰谷差数据在0.1~0.25 mm之间,均达到合格标准。分析认为,大型发电机定子槽楔采用槽楔块、波纹片、垫条压紧方式,由于发电机新投运后,定子线棒热胀力作用发生适合于定子槽形形变,部分槽楔压紧力下降,致使槽楔松动。对于这种类型松动,处理后,由于线棒已历经额定负荷时的电磁力、机械、温效应力考核,与槽壁的物理位置已适形贴伏,正常情况,再发生深度形变机率较小,据发电机厂的经验,槽楔处理过一次后,可保证发电机在下一个大修周期前不会出现大面积松动。

在检查中,还发现两侧端部线棒固定螺栓松动较多,汽侧3个端环固定螺母松动,其他多处垫片松动,对此发电机厂人员对端部固定螺栓全部紧固做防松处理。用适型材料浸漆后填充两侧铁心端部中缝,对过桥引线固定间隙也进行填充。对绑扎绳的固定螺栓进行绑扎。并将端部弹簧板螺栓松开,发现有

间隙则插入垫片,以使端部结构应力减小。

在本次大修过程中,根据上海发电厂结合近年来出厂的 600 MW 发电机运行情况提出的要求检查处理,对发电机铁心做紧固处理。6 号发电机铁心检测结果如下:取上下左右四根定位螺杆做紧量测试,汽侧平均紧量为 91%(100%为 190.34 bar),励侧为 93%,紧量合格,参照 100%紧量进行收紧全部 42 个定位螺杆,定位螺杆收紧后其伸出长度变动量汽侧平均 0.211 mm、励侧平均 0.15 mm。测量汽侧穿心螺杆原始紧量,平均紧量为 84%(100%为 1259 bar),合格,后按照 100%紧量收紧穿心螺杆并做了保险,穿心螺杆收紧后螺杆伸出长度汽侧平均 1.182 mm、励侧平均 0.178 mm。检测穿心螺杆和汽励端分压块板绝缘均大于 10 M Ω ,合格。对铁心风道齿条推力进行抽检,紧力基本全部合格,汽端 93 号档有 15 处紧力在 70~100 N 以内(合格:端部 90 N,中间 60 N,标准 127 N),后对低于 100 N 处的端部铁心加装斜楔,一共 12 处。复测紧力全部合格。铁心穿心螺杆、定位螺杆收紧后,铁心长度平均值无变化为 6 307 mm,铁心检查结果完好。定子铁芯穿芯螺杆的紧量必须控制在严格的范围之内,螺杆紧力过大,或紧力不均匀,将都可有造成铁芯片间绝缘受损,致铁芯故障。

2 发电机转子问题

(1) 3 号发电机转子导电螺钉漏氢问题。

2008 年 10 月,3 号发电机(西屋全氢冷,350 MW)大修。在对转子作气密封试验时,发现气密试验不合格,在 8 bar 气压下,5 h 内压力下降了 0.7 bar,不合格。后将导电螺钉取出检查,发现转子导电螺钉与外包环氧玻璃布层发生剥壳,导致漏氢量超标。将导电螺钉上的绝缘按发电机制造厂工艺,重新包绕,用环氧浸渍烘干后,绝缘试验合格(1 000 V 摇表,3.44 G Ω)。安装时,对转子导电螺钉螺纹、转子密封钢压紧套螺纹修整,螺钉槽螺纹修理,导电螺栓的 6 只氯丁橡胶密封圈更换,最后将导电螺栓通过压帽与乒乓板接触,铜压帽与钢压紧套处均鍍止退锁,防止运行中松动。导电螺栓导电螺栓处理安装结束,用无水酒精浸泡导电螺钉头环周,未发现气泡冒出,重新做转子气密试验,6 h 气压下降量为 0 bar,确认漏点已消除。

检查 3 号发电机大修前的漏气量为 7.8 m³/天,低于制造厂给定的 11.3 m³/天,在合格范围,但与同型 4 号发电机漏氢量 3.1 m³/天相比,明显偏大。从转子气密性试验上看,漏氢量应远大于 11.3 m³/天,机组停下漏氢量反而变大,分析认为,导电螺钉上

所包绝缘层剥壳后,在发电机运行时,铜螺钉有 3 kA 以上电流通过,螺钉膨胀,剥离层间隙变小,故漏氢量不明显。但发电机停役后,螺钉温度低,剥离层间隙变大,至发电机转子漏气量变大。

(2) 2 号发电机(ANSALDO QFSN-350-2,350 MW,水氢氢冷却)转子一点接地问题。

2005 年 4 月 8 日 2:57 和 4:17 出现 2 次“转子一点接地报警”。2005 年 8 月 4 日 4:53 和 20:09 先后又出现 2 次“转子一点接地报警”。2005 年 11 月 26 日 13:33 和 18:53 2 号发电机又出现 2 次“转子一点接地报警”。

2006 年 4 月 2 号机小修,发电机滑环小室解体移位,通过现场滑环组件的仔细检查,发现滑环风扇风挡上的固定螺丝与滑环风扇东侧外缘之间存在碰磨,形成金属性接触。

针对导致转子一点接地的两处间隙,将绝缘哈夫板上的金属垫片更换成环氧绝缘垫片,滑环风扇风挡上的螺丝全部更换为盘头螺钉,使螺钉头部低于绝缘板的高度,滑环风扇螺栓再无碰磨。本次处理后,发电机投运至今已 4 年,转子再未出现一点接地报警故障。

发电机转子一点接地故障对发电机正常运行危害较大,特别是金属性一点接地若不及时处理,一旦转子内部或外部回路发生另一点接地,会形成部分匝间短路。大电流会烧损转子大轴,同时由于转子磁场不对称,会引起转子剧烈振动;转子大电流也导致转子本体严重磁化,以上三点会影响机组安全运行。

转子一点接地故障出现,一经检查找出原因,将及时消除,以避免若再出现一点接地造成的发电机事故,本次发生在 2 号发电机转子上的一点接地问题找到原因,及时排除发电机重要隐患。

3 发电机附件设备问题处理

(1) 3 号发电机(西屋全氢冷,350 MW)氢冷器解体泄漏处理。

2009 年 10 月 3 号发电机大修过程中,对 3 号发电机氢冷器(A/B/C/D)作投产(1997 年)以来的首次解体检修。由于该氢冷器结构复杂,一直未能进行解体检查。在本次首次解体过程中,发现氢冷器内部结垢较多,作细软铜丝刷洗作清洗处理。氢冷器上部板框锈蚀凹坑较多,框平面出现严重变形,后在磨床上磨光 500 μ m,去掉凹坑,并对板框找平,但平整度仍超过 100 μ m。发电机氢冷器的水侧密封、气侧密封涉及密封垫全面更换。为安全起见,密封垫采用发电机厂提供的西班牙制 TN-9001 型,厚

$\delta=1.57$ mm 密封垫,并涂端盖用流体密封胶。安装后,发电机出现氢冷器出现大面积漏水漏气,折算发电机漏氢量达 $33\text{ m}^3/\text{天}$,严重超标。后将氢冷器拆除再次解体检查,并选用进口纸薄垫,厚 $\delta=2.0$ mm,涂乐泰 587 密封胶,氢冷器安装后,仍漏气漏水,但漏气量明显减少,按当时检修工期进度,不具备再次更换密封时间,后采取有螺栓紧力进行密封面平整度校正措施,经 3 天的反复拧紧处理,氢冷器水侧密封,氢气侧密封均不再漏。后对发电机充压缩空气,进行气密性试验,折算成漏氢量 $5.6\text{ m}^3/\text{天}$,修前 $8.9\text{ m}^3/\text{天}$,发电机的密封处理较好。发电机正式投运后,漏气量在 $1.5\text{ m}^3/\text{天}$ 左右,发电机密封处理较好。

分析原因:氢冷器的漏氢漏水是密封面变形引起,密封垫受力不均,达不到密封效果,第一次安装漏氢量大,因所用密封垫过薄,不能被板框密封面压实,密封效果不佳。第二次密封垫选厚,板框对密封垫能够基本纠正密封面变形,故泄漏情况减弱。在后来连续三日的螺栓按环周方向逐一反复拧紧,迫使悬空的密封面变形伏贴后压紧密封垫,使密封垫能完全密封,从而解决氢冷器的泄漏问题。在发电机检修过程中,涉及如人孔,氢冷器等较大的静密封面,由于密封面易出现变形,密封面的厚度增加,可提高密封效果,通过反复拧紧螺栓,基本可纠正密封面形变,使得密封件能够压实,真正起密封作用。

(2) 8 号发电机(上汽 QFSN-600-2,600 MW,2007 年投用)运行中氢冷器损坏处理。

2008 年 7 月 17 日 13:30,8 号发电机出现氢冷器漏水故障,氢气快速泄漏,发电机被迫停运。发电机停役后,对发电机作检查,从检漏仪 A/B/C/D 内排出大量的水,总共约有 100 kg 。查运行记录,发现在氢冷器漏水前,有闭冷泵切换工作,就地确认闭冷水泵再循环全开后,启闭冷泵 B,闭冷水母管压力由 0.831 MPa 升至 0.953 MPa ;后氢冷器进水压力调门开始晃动,晃动前氢冷器压力调整门在手动方式,开度为之前一直保持 21.8% 。其后晃动呈发散扩大趋势,幅度 $10\%\sim 32\%$,闭冷水母管压力同时发生晃动,手动干预氢冷器压力调整门无效;此过程,发电机的氢气压力也呈现下降,在 30 min 同氢气压力由 4.13 bar 下降至 0.14 bar ,此时发电机氢冷器漏水后发电机氢气进入闭冷水系统。

发电机停役后,对氢冷器作解体检查,在汽侧侧氢冷器底部积水槽及其钢结构件凹处均发现有水残留,但是在励侧同样位置没有发现有水残留。事后对拆下来的氢冷器进行水压试验,确认只有汽侧氢冷器 D 的最上一排有两根铜管破损,励侧氢冷器正

常,后用铜锥将漏水的铜管堵死。

发电机因氢冷器漏进水后,对发电机断引,测发电机定子绕组绝缘:普通兆欧表 500 V (由于知发电机受潮严重,选较低电压进行试验),测得绝缘 $0.06\text{ M}\Omega$,测试转子绝缘:试验电压 60 V ,发电机转子绝缘 500 V , $2.9\text{ M}\Omega$ 。发电机绝缘水平较低,发电机因内漏受潮严重,已深度除潮。将发电机出线箱人孔、两侧端盖处人孔打开检查,发现出线套管表面,线圈引出线表面油迹斑斑,个别地方仍有较多积油,侧端盖处还存在积油、积水。为尽快能恢复发电机绝缘,对各处积油、积水表面进行清擦,套管表面油迹用酒精清擦,并使用红外灯对小室内部进行烘烤。打开发电机顶部人孔,用辅汽加热定冷水温至 70°C ,发电机盘车。历经 16 h 的加热烘干,效果不彰。通过暖风机将干燥热空气鼓入机身,并使大量潮气从顶部人孔处排出。经过持续干燥约 24 h ,测试发电机定子绝缘:摇表 2500 V ,A 相 $3680/1700\text{ M}\Omega$,B 相 $1850/1350\text{ M}\Omega$,C 相 $2460/1600\text{ M}\Omega$,泄漏电流与基建投运前相近,具备投运条件。转子绝缘, 500 V 兆欧表测试, $2.6\text{ M}\Omega$,偏低,但在合格范围。8 月 23 日机组启机,发电机升压并网,投运正常。

本次氢冷器漏水的原因是闭冷水进水压力调整门质量差导致闭冷水压力波动大,对系统形成水锤作用,氢冷却器个别铜管在高频波动压力作用下疲劳破损,造成铜管破损,致发电机进水故障。对于进水后的发电机干燥处理,虽采取红外灯烘烤、热水加温烘干、热风干燥,从总体上看,在不抽转子情况下,通过热风干燥是效果较好的处理方法,值得推广。

(3) 发电机定子绕组水管堵塞问题及解决。

造成发电机定子绕组水管堵塞的主因有:电机检修或制造中形中的异物,如胶垫断裂物、水系通统滤网破裂致异物进入,氧化铜沉淀物积垢造成堵塞。参照《国电发 1999-579 汽轮发电机运行规程》735 项:发电机累计运行 2 个月以上,遇有停机机会,应对定转子回路进行反冲洗,以确保水回路的畅通。利港电厂根据规程,并结合本厂实际情况,将定子反冲洗周期控制在每年一次,从反冲洗效果看,还是明显的,在 2010 年的 6 号发电机检修返冲洗过程中,第一次发现锥形滤网中有较多泥垢,堵塞在滤网的孔眼上。且在第 3 次反冲洗冲出一块黑色小铜屑,由于该机组为新机组,检查发现为制造遗留物。2009 年在对 1 号发电机进行反冲洗,从绕组水管中冲出 3 片长度为 7 mm 的黑色铜环,根据铜环外形判断是制造时残留的铜屑片。已投运多年,多次反冲洗未能冲出,这次意外冲出可能另有原因,后检查发现本

(下转第 27 页)

500 kV 合成绝缘子断串及发热缺陷的事故分析,给出以下几点建议:

(1) 尽早用新一代合成绝缘子更换已运行多年的早期合成绝缘子,消除输电线路隐患,保证电网安全可靠运行。

(2) 早期国外合成绝缘子护套厚度较薄,密封胶多采用室温硫化硅橡胶材料,密封性能差,存在安全隐患,建议加强对该类合成绝缘子的抽检试验。

(3) 建议线路维护部门加强对 2000 年前生产的合成绝缘子开展红外检测,及时发现各类隐性缺陷。

参考文献:

[1] 包建强,余长水,周立波,等. 进口 500 kV 复合绝缘子断裂

的原因分析[J]. 绝缘材料,2009,42(5):71-76.

[2] 钱之银,包建强. 进口合成绝缘子断裂原因分析[J]. 高电压技术,2003,30(5):3-4.

[3] 张鸣,陈勉. 500 kV 罗北甲线合成绝缘子芯棒脆断原因分析[J]. 电网技术,2003,27(12):51-53.

[4] 张畅生,王晓刚,黄立虹. 500 kV 惠汕线合成绝缘子芯棒脆断事故分析[J]. 电网技术,2002,26(6):71-73.

[5] DL/T 864—2004, 标称电压高于 1 000 V 交流架空线路用复合绝缘子使用导则[S]. 北京:中国电力出版社,2004.

作者简介:

刘洋(1982-),男,江西景德镇人,工程师,从事输电线路及电气外绝缘相关工作。

Analysis and Countermeasures of Core Brittle Fracture of Imported Composite Insulator on 500 kV Transmission Line

LIU Yang¹, LIU Zhen-yao¹, ZHOU Zhi-cheng¹, WEI Xu¹, LI Hong-ze², FAN Xiao-dong³

(1. Jiangsu Electric Power Research Institute Co. Ltd, Nanjing 211103, China;

2. Jiangsu Electric Power Company, Nanjing 210024, China; 3. Suzhou Power Supply Company, Suzhou 215000, China)

Abstract: Through the study on the feature of fractured core of composite insulator in a certain accident and the sampling test of the imported composite insulator on the same lot operating on 500 kV transmission line, the reason of the core fracture of composite insulator is analyzed. The fracture reason is ascertained that the mechanical performance of core is degraded by acid erosion on account of poor sealing end and unreasonable interface design. At last, the countermeasures of such composite insulator in operation are given to ensure the safety and reliability of power system.

Key words: composite insulator; fracture; core; silicone rubber

(上接第 24 页)

次反冲洗压力较以往要高,当时因压力调整阀出问题,反冲洗水压力意外由原来的 2 bar 上升至 3.5 bar。可见开展发电机反冲洗工作时,压力低影响效果,应选择接近于发电机正常运行时的额定水压,现已将反冲洗的水压力标准改为 3.5 bar。

4 结束语

上述为利港电厂近年来发电机在检运过程中遇到的一些重要问题及对问题的分析和处理,这些重要问题的及时解决,对于利港电厂发电机长年健康运行起到不可忽视作用。

参考文献:

[1] 李伟清. 汽轮发电机故障检查分析及预防[M]. 北京:中国电力出版社,2002.

[2] 陈化钢. 电力设备预防性试验方法及诊断技术[M]. 北京:中国科学技术出版社,2001.

[3] QFSN-600~660-2 型汽轮发电机说明书[S]. 上海:上海汽轮发电机厂出版,2009.

[4] 国电发 1999-579 汽轮发电机运行规程[S]. 北京:中国电力出版社,1999.

作者简介:

兰秀蔚(1973-),男,江苏溧阳人,电气工程师,长期从事电厂高压电气设备、技术管理工作。

Research on Issues Occurred During Maintenance Period of Large-scale Power Plants

LAN Xiu-wei

(Jiangsu Ligang Power Generation Co. Ltd., Wuxi 214444, China)

Abstract: The issues associated with the generator stators, rotors and the accessory systems occurred during the maintenance period in recent years are introduced and analyzed in the paper. The conclusions can provide valuable reference for the operation, maintenance and management of generators in large-scale power plants.

Key words: generator; stator; rotor; winding bar; slot wedge; hydrogen-cooled device