

大型发电机组电气系统调试 常见问题及其防范措施

张 钢 周亚群 何信林

(西安热工研究院有限公司, 西安 710043)

摘要 通过多年大型发电机组电气系统调试, 汇总并总结了大型发电机组电气系统调试过程中常见的设计、安装、操作、设备配合等问题, 对其进行了规律性分析。为了避免该类问题的发生, 提出了一些防范措施, 包括严格按照调试措施及操作票执行操作、临时修改部分保护定值、PT 本体加压等, 为大型机组电气系统调试起到一定的借鉴作用, 有效防止类似问题的发生。

关键词: 大型发电机组; 系统调试; 防范措施

Common problems and preventive measures about electrical systems testing of large units

Zhang Gang Zhou Yaqun He Xinlin

(Xi'an Thermal Power Research Institute Co., Ltd, China Huaneng Group, Xi'an 710043)

Abstract This paper summarizes some common design problems, installation problems, operational problems, equipment matching problems through many years of electrical systems testing about large units, and analyses the regularity. To void this kind of problems, this paper offers a few preventive measures, including according actions and operation orders strictly, modifying some protection fixed value temporary, applying voltage to PT. It can have a reference effect to the electrical systems testing of large units, help to prevent these kind of problems.

Keywords: large units; electrical systems testing; preventive measures

电气系统调试是当电气设备安装结束以后, 按照国家有关规程、厂家技术要求、设计院设计图纸, 检验电气设备的设计、安装、调试质量及其电气系统的完整性和可靠性。通过电气系统调试, 及时发现并消除存在的问题和缺陷, 有效保证电气设备及系统安全稳定的投入运行, 为机组投产运行打牢基础。

本文通过多年大型机组电气系统调试, 总结了调试过程中遇到的各类常见问题, 并对其进行原因分析, 提出了有效的防范措施, 为相关的电气系统调试工作提供了一定的借鉴作用, 有效防止类似问题的发生。

1 常见问题及原因分析

1.1 励磁调节器起励时转子电压偏高

某 350MW 机组在整套起动试验过程中, 当进

行发电机机端三相短路试验时, 发现励磁调节器起励建压时转子电压偏高, 转子电压有效值达到 120V 左右。停机检查发现, 励磁调节器直流母排两侧电阻无穷大, 而发电机额定转速时转子交流阻抗测试数据与厂家出厂数据一致, 从而断定励磁调节器至发电机转子碳刷直流一次母排未连通, 导致励磁调节器起励瞬间转子电压偏高。

1.2 6kV 电缆接头安装不紧固导致间隔着火

某电厂 2 号机组带负荷运行过程中, 6kV 2A 段输煤变 B 电源间隔着火, 运行人员通过操作台紧急停机按钮将发电机解列灭磁, 随后手动分开 6kV 2A 段备用电源进线开关, 6kV 2A 段失电。通过调取 6kV 2A 段输煤变 B 电源间隔综保装置动作报告, 过流保护一段动作, 动作电流 A 相 24.9A、B 相 25.3A、C 相 24.86A, 保护动作时母线电压 A 相 13.71V、B 相 13.24V、C 相 16.12V, 动作时间 0.51s, 过流保

护一段定值为 3.95A、0.5s，保护动作正确。检修单位解体该间隔 6kV 电缆发现，6kV 2A 段输煤变 B 电源间隔 C 相电缆接头与断路器下端口连接不紧固，有放电灼烧现象，A、B 相电缆接头与断路器下端口连接紧固，接触面无放电灼烧现象。由于输煤变 B 电源断路器下端口 C 相电缆与断路器引出线连接不紧固，致使输煤变 B 长期运行时，接头发热，烧毁电缆绝缘层，电缆三相短路，间隔着火。

1.3 发电机甩负荷试验后，发电机转子接地保护动作

榆林某电厂甩负荷试验后，发电机转子接地保护一点接地动作，发电机解列灭磁。通过发电机转子回路绝缘检查，对地绝缘接近为零。为了检查确认接地位置，拔出发电机转子碳刷，测量发电机转子绝缘，测量结果良好，排除发电机转子本体接地故障，通过逐级检查碳刷至励磁调节器共相封闭母线，励磁调节器本体，励磁变及低电压侧各处绝缘，发现励磁调节器至碳刷共相封闭母线绝缘低，打开共相封闭母线发现，母线上搭接一焊条。分析认为，甩负荷瞬间，机组振动大，导致共相封闭母线内遗留焊条搭接至直流母排，发电机转子接地保护动作，解列灭磁。

1.4 保护装置内线脱落导致保护传动瞬间直流接地

西宁某电厂升压站一线路保护柜传动过程中，保护动作瞬间，直流馈线屏直流接地报警，保护动作结束后，直流接地报警恢复。经过多次保护传动，均出现该报警现象。检查发现，该线路保护柜 LD 端子 A 相跳闸信号端内线脱落并接触到盘柜柜体，LD 端子外回路接至故障录波器，实时反应保护动作情况。由于故障录波器已上电，线路保护柜 LD 端子公共端带有正 110V 电压，信号端带有负 110V 电压。当保护动作瞬间，至故障录波器 A 相跳闸节点导通，导致 LD 端子 A 相跳闸信号端内线带有正 110V 电压，直流接地，当保护动作结束后，至故障录波器 A 相跳闸节点断开，直流接地恢复。

1.5 励磁调节器分压电阻盒与发变组保护柜转子接地保护不匹配

河南某机组整套起动试验过程中，发变组保护柜转子电压测量值与实际值偏差较大，发电机转子接地保护和发电机失磁保护无法正常投入。原设计中，励磁调节器转子电压输出分两类，一类为 4~20mA 量输出，另一类为分压电阻盒输出，至发变组保护柜和故障录波器转子电压采用分压电阻盒输出。为防止高电压损坏电气二次回路，分压电阻盒

输入电压为实时转子电压，输出电压为输入电压的 1/15，发变组保护柜取用转子电压即为分压电阻盒输出电压，同时保护柜发电机系统参数转子电压校正系数为 15，即保护柜转子电压计算值为采样值的 15 倍。停机后，断开分压电阻盒外部回路，测得分压电阻盒输出端内阻为 92kΩ，断开发变组保护柜转子电压外部回路，测得其内阻为 180kΩ，由于两侧内阻为同一数量级，导致发变组保护柜转子电压偏离实际值^[1]。为解决这一实际问题，保证发电机转子接地保护和失磁保护的正确投入，通过与励磁调节器厂家、发变组保护厂家以及业主单位探讨协商，当励磁调节器强励动作时，转子电压达到最高值 2 倍额定转子电压(额定转子电压为 435V)，即 870V，而发变组保护柜转子电压通道最高能承受 2000V 尖波电压，同时发电机转子回路电阻不到 10Ω，与保护柜转子电压内阻相比，可以忽略不计。最终研究决定，将发变组保护柜转子电压改为直采励磁调节器转子电压，不通过分压电阻盒，将保护柜转子电压校正系数改为 1，同时将励磁调机器至发变组保护柜转子电压电缆改为耐 3000V 高压电缆，保证发电机转子接地保护和失磁保护能够正确投入。

1.6 升压站间隔 CT 变比设计偏小

河南某电厂升压站采用屋内 GIS 双母接线方式，升压站共有 8 个间隔，其中包含一个起备变间隔，该间隔配有 8 组 CT，原设计中 CT 变比为 150~300/1，8 组 CT 中 6 组 CT 准确级为 5P20，用于保护回路，1 组 CT 准确级为 0.2，用于测量回路，1 组 CT 准确级为 0.2S，用于计量回路。

调度提供系统阻抗如下：归算至电厂 220kV 母线，基准容量 100MVA，基准电压 230kV 时，最大方式下系统阻抗值 $Z_{s1,max} = 0.00766$ 。归算至基准容量 100MVA，发电机直轴超瞬变电抗饱和值 $X_d^{*} = 0.0425$ ，主变正序阻抗值 $X_T^{*} = 0.0466$ 。当大方式下升压站起备变间隔 CT 至起备变高压侧区间发生三相短路故障时，其短路电流为

$$\begin{aligned} I_{k,max}^{*(3)} &= \frac{1}{Z_{s1,max} / (X_d^{*} + X_T^{*}) / 2} \cdot \frac{S_B}{\sqrt{3}U_B} \\ &= \frac{1}{0.00766 / (0.0425 + 0.0466) / 2} \times \frac{100 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 230} \\ &= 38.4 \text{kA} \end{aligned}$$

母线保护柜起备变间隔电流为

$$I = \frac{I_{k,max}^{*(3)}}{n_{TA}} = \frac{38.4 \times 10^3}{300} = 128 \text{A} >> 40I_N$$

其中 $I_N=1A$ 。当母线保护柜间隔电流大于 40 倍额定电流时，采样通道容易失真，母差保护可能误动。而该区域发生三相短路故障时，对于母差保护属于穿越性故障，不在母差保护范围内，不允许母差保护动作，升压站起备变间隔 CT 变比设计偏小。通过与业主单位、设计院、GIS 厂家沟通协商，决定将起备变间隔 CT 更换为变比是 600~1200/1 的 CT，此时当该区域发生三相短路故障时，有

$$I = \frac{I_{k,\max}^{(3)}}{n_{TA}} = \frac{38.4 \times 10^3}{1200} = 32A < 40I_N$$

满足要求，同时起备变高压侧额定电流为 100.4A，该变比可以满足保护、测量及计量要求。

1.7 6kV 过压保护器对厂变差动保护的影响

在榆林某机组正常运行过程中，厂变差动保护动作，机组解列灭磁。停机后调取发变组保护动作报告及发变组故障录波器动作曲线，发现 6kVA 段工作进线电流瞬间为零，导致厂变差动动作。检查厂变低压侧绝缘，检查结果合格，无接地及相间短路故障。检查 6kVA 段工作进线开关，发现原设计将至发变组保护柜工作进线电流与至工作进线柜过压保护器电流并接。正常运行时，过压保护器漏电极小，为高阻状态，流入保护器电流不超过 0.1mA，当发生异常过电压时，过压保护器迅速动作变成短路状态。由于过压保护器误动作，将至保护柜电流短接，导致厂变差动低压侧电流为零，厂变差动保护动作。

1.8 事故按钮设计不合理导致电动给水泵异常跳闸

河南某 2×350MW 热电联产工程两台机组共用一台电动给水泵，两台机组 6kV 配电室各自带有一个电动给水泵馈线开关，任意一台机组馈线开关都可以给电动给水泵供电。电动给水泵试运期间，任一电动给水泵馈线开关合闸后，开关跳闸。检查发现，电动给水泵就地带一事故按钮，原设计将事故按钮至两电动给水泵馈线开关回路在事故按钮处并接，导致两台机组两路 220V 直流电源在事故按钮处并接。任一 6kV 电动给水泵馈线开关合闸后，事故按钮跳闸回路动作继电器得电，导致开关合闸后直接跳闸。通过与设计院沟通协商，在电动给水泵就地加一事故按钮，分别接至两台机组电动给水泵馈线开关，电动给水泵再次送电试运后，未再出现该故障。

1.9 线路保护柜操作箱两路操作电源串电

西宁某电厂线路保护柜传动过程过，为了确保

开关操作箱两路操作电源的独立性，保证操作回路可靠动作，分别在只送单路操作电源和两路操作电源同时送电情况下，分别对开关进行保护传动。在只送单路操作电源传动时，发现两路操作电源存在串电现象。通过与厂家联合检查发现，在焊接操作箱三相分闸线圈电阻后，由于各相分闸线圈板件外形一致，没有编号标识，恢复时若将分闸线圈板件顺序接反，则导致两路操作电源串电。

1.10 220kV 双母母线 PT 准确级配置错误

河南某 220kV 升压站为双母带母联接线方式，带有两个母线 PT 间隔，母线 PT 通过电压并列屏接至各盘柜。检查发现，母线 PT 电压准确级设计混乱，通过与设计院沟通，修改 PT 并列柜图纸，确定保护用母线电压取用 3P 级 PT 绕组，计量用母线电压取用 0.2 级 PT 绕组。

1.11 发电机机端 PT 二次回路断线

榆林某机组在电气整套起动发电机空载试验过程中，发电机升至 50% 额定电压进行 PT 电压回路测量时，发现发电机匝间专用 PT 至发变组保护 A 柜 B 相电压为零，在发电机本体端子箱内测量，故障情况相同。停机检查发现，从匝间专用 PT 本体至 PT 本体端子箱 B 相回路不通，修改该回路后，继续进行发电机空载试验，电压回路测量正确。

2 防范措施

2.1 设备安装问题的防范

在电气设备安装过程中，由于施工人员的疏忽，造成一次系统连接不完整，安装不够紧固，施工垃圾未清理等类似情况时有发生。为了避免此类问题，在设备安装阶段，安装单位技术人员应及时进行自查，同时监理单位应组织各单位进行联合检查。在分系统调试阶段，调试单位应进行复查，避免将此类问题带入整套起动过程中^[2]。

2.2 主保护未能正常投入时，临时更改后备保护定值

在电气系统试运过程中，往往会因某些原因导致主保护未能及时投入。为了更加可靠的保护运行设备，在设备需要投运而主保护不能及时投入的情况下，可临时修改后备保护定值。如将后备过流保护作为主保护，在修改过流定值的同时缩短保护动作延时，保证发生短路故障时，能够准确、快速的切除故障，避免设备受到损坏。

2.3 条件允许情况下，带 PT 本体进行加压

调试过程中，为了检验发电机 PT 电压回路的

完整性和准确性，需进行二次加压，测量 PT 二次电压值和相序。通常在二次加压时，不通过 PT 本体，而是断开 PT 二次空开，在空开下口加量。为了检验 PT 本体，在条件允许情况下，可以带 PT 本体进行加压。以某电厂为例，发电机机端额定电压为 20kV，机端 PT 未与封闭母线连接，变比为 $\frac{20\text{kV}}{\sqrt{3}} / \frac{0.1\text{kV}}{\sqrt{3}} / \frac{0.\text{kV}}{\sqrt{3}} / \frac{0.1\text{kV}}{3}$ ，合上 PT 二次空开，在第一个副边绕组施加 1V 电压，PT 原边将感应出 200V 电压，同时第二个副边绕组感应出 1V 电压，第三个副边绕组感应出 $\sqrt{3}/3$ V 电压。通过带 PT 本体进行加压，不仅验证了 PT 二次回路的正确性，同时在机组整套起动前就验证了 PT 本体的可靠性，避免在发电机空载试验时因为 PT 本体原因影响整套起动试验的进度。

2.4 整套起动试验时，严格按照整套起动措施及运行操作票执行

在整套起动试验过程中，应严格按照整套起动措施及运行操作票执行，有效防止漏相。在试验过程中，电气负责人应全面掌握各系统原理及试验方法，全局把握试验过程。运行人员应严格按照操作票执行操作，对每一项操作要进行再次确认，确认无误后方可执行，防止误操作^[3]。

2.5 发电机空载试验时首先手动增磁至 10% 额定电压

在整套起动试验过程中，发电机在额定转速下，需进行发电机空载特性试验，录取发电机机端电压与发电机励磁电流的关系曲线，即发电机空载特性曲线。并将该曲线与厂家提供出厂试验曲线相比较，检验发电机运行参数及运行特性，同时需要检测发电机 PT 回路的准确性与可靠性，确保发电机组顺利投入运行。由于发电机空载试验是发电机第一次起励建压，在励磁调节器为手动模式定角度控制方式下，建议先手动增磁至 10% 额定机端电压，保持一段时间，检查发变组运行有无异常，同时测量发电机机端 PT 二次电压值、相序及开口三角电压值，待确认发变组运行无异常，机端 PT 回路正确无误

后，再将发电机机端电压缓慢升至 1.05 倍额定电压。通过先将发电机电压升至 10% 额定电压，能够在发电机电压较低的情况下，及时发现潜在的问题，避免在机端电压较高时问题未能及时发现，损坏设备。

2.6 厂用 10kV (6kV) 开关柜配置弧光保护

由于厂用 10kV (6kV) 系统馈线多、馈线开关操作频繁、容易受小动物危害、馈线安装不紧固、设备机械磨损及绝缘老化等原因，10kV (6kV) 开关柜故障时有发生。建议在 10kV (6kV) 各开关柜配置专用弧光保护装置，及时发现并切除故障，提高电力系统安全生产效率，避免不必要的设备损坏及人身伤害。

3 结论

大型发电机组电气系统调试是一个非常重要的环节，其贯穿于整个机组建设期间，为机组长期安全稳定的运行创造条件。在这个阶段的工作中，暴露的问题多，设计、安装、操作、设备配合等方面的问题都需要及时处理，因此系统调试对于机组的正常运行和安全生产具有非常重要的意义。

通过多年大型机组的系统调试工作，本文总结了各类常见问题并进行了原因分析，提出了有效的防范措施，对相关专业人员日后工作起到了借鉴作用，能够有效防止类似问题的发生。

参考文献

- [1] 兀鹏越，孙钢虎，牛利涛，等. 大型发电机组电气系统整套起动试验常见问题及其处理措施[J]. 热力发电, 2013, 42(1): 100-102.
- [2] 孙钢虎，兀鹏越，牛利涛，等. 火电机组电气启动试验中的问题及处理[J]. 电力建设, 2012, 33(7): 46-49.
- [3] 兀鹏越，胡任亚，陈飞文，等. 1036MW 机组的电气整套启动调试[J]. 电力建设, 2010, 31(7): 77-79.

收稿日期：2017-11-27

作者简介

张 钢 (1987-)，男，江苏常州人，硕士，工程师，主要从事电站起动调试工作。