

## 300 MW 发电机励磁碳刷故障原因及运行维护对策

杨凯

(广东湛江电力有限公司, 广东 湛江 524099)

**摘要:** 分析了采用交流励磁机的 300 MW 发电机励磁碳刷常见故障所产生的机理及原因, 并以此为依据提出了相应的运行维护对策。对于避免转子回路失磁、转子短路等严重事故的发生, 规范 300 MW 发电机碳刷的运行维护管理, 进而减少类似故障发生有一定的借鉴意义。

**关键词:** 碳刷; 常见故障; 原因; 发电机

## Cause of carbon brush fault for 300 MW generator and countermeasure of operation and maintenance

YANG Kai

(Zhanjiang Electric Power Co., Ltd, Zhanjiang 524099, China)

**Abstract:** This paper analyses the causes of carbon brush familiar fault for 300 MW generator. Based on the analysis, it puts forward countermeasure of operation and maintenance. They are the reference to manage operation and maintenance and can avoid the similar fault.

**Key words:** carbon brush; familiar fault; cause; generator

中图分类号: TM31

文献标识码: B

文章编号: 1003-4897(2007)09-0070-02

## 0 引言

对于采用交流励磁机的发电机而言, 发电机转子碳刷是励磁回路动静接触及能量传递的重要部件。碳刷一般由石墨制成, 石墨是非金属导电材料, 其电阻系数是铜的 400 倍, 运行过程中产生的热量以及持续滑动磨擦带来的热量及机械损耗使碳刷成为发电机中最易损坏和维护工作量最大的零件。随着发电机电容量的提高和励磁电流的增大, 碳刷的数量和尺寸也在增长, 300 MW 容量的发电机转子回路的碳刷每极可达 30 个以上, 虽然某几个碳刷损坏或故障不会立即威胁到发电机的运行安全, 但若发现不及时, 将会引起其余正常碳刷的运行条件恶化而相继损坏, 轻则使机组被迫降负荷, 重则引起发电机失磁造成停机, 甚至引发转子回路短路造成发电机设备损坏。300 MW 的发电机组无论是失磁停机还是设备损坏对电网都有严重影响, 因此对转子碳刷的运行维护工作要予以高度重视。

## 1 碳刷运行时常见的故障及原因

## 1.1 碳刷部件过热烧损

电流流经碳刷将引起碳刷发热, 其发热由三部

分组成: 刷体自身电阻引起的发热、与刷架及集电环间的接触电阻引起的发热, 与集电环间的滑动磨擦引起的发热。

碳刷自身电阻发热功率:  $W_1 = I^2 R_1$

碳刷接触电阻发热功率:  $W_2 = I^2 R_2$

磨擦发热功率:  $W_3 = Fv$

其中:  $I$  为流过碳刷的电流;  $R_1$  为碳刷电阻;  $R_2$  为碳刷接触电阻;  $F$  为碳刷弹簧压紧力;  $v$  为碳刷与集电环的相对运动速度。

碳刷运行中与集电环的相对运行速度  $v$  是固定的, 弹簧若为恒压式则压紧力  $F$  恒定, 若为非恒压式则  $F$  在碳刷运行过程中将随刷体的磨损逐渐降低, 因此磨擦发热并不会引起碳刷过热。而碳刷自身及接触电阻发热功率之和为

$$W_1 + W_2 = I^2 R_1 + I^2 R_2 = I (IR_1 + IR_2) = I (U_1 + U_2) = IU$$

其中:  $U_1$  为碳刷自身压降;  $U_2$  为碳刷接触压降;  $U$  为碳刷运行中的总压降。碳刷在运行中同极碳刷的总压降  $U$  都是相同的, 则碳刷自身及接触电阻引起的发热取决于流经碳刷的电流  $I$ 。由上式可知碳刷是否出现过热最终由流经碳刷的电流决定。碳刷电流负荷过大将引起碳刷过热, 刷体温度升高, 由于碳刷材料石墨负温度电阻特性的影响, 碳刷温度越

高,则刷体电阻越小,流经碳刷的电流越大,引起更严重的过热,如此恶性循环将最终造成碳刷刷辫烧断、碳刷压簧及刷握烧红烧损等故障,这也是发电机碳刷最常见的故障。

### 1.2 碳刷跳动、冒火

发电机转子集电环螺旋沟积聚灰尘、碳粉末使碳刷与集电环之间形成接触气膜、集电环的圆度、同心度不佳、碳刷与集电环磨合面接触精度不佳、集电环表面因电腐蚀出现小凹坑,表面光洁度变差都会使碳刷与集电环接触不良,造成碳刷跳动、冒火现象,有时甚至使某些质量不佳的碳刷出现崩角、碎裂等情况。

### 1.3 碳刷卡阻

碳刷在运行中受热刷体将会膨胀,若刷体与刷握尺寸不匹配,容易造成刷体膨胀受阻,增加了刷体与刷握内表面的磨擦阻力,从而使碳刷出现卡阻。碳刷磨损产生的碳粉不能及时带走,积聚在刷握内,也容易使碳刷卡阻。此外,碳刷弹簧两侧压力不均或刷握安装不当、不在集电环圆周法线上,将会使刷体在刷握内倾斜,在刷握一侧上沿及另一侧下沿产生卡阻。碳刷卡阻后,由于不能活动自如,运行一段时间后,碳刷与集电环的接触面将因刷体磨损而逐渐分离,造成该碳刷所分担的励磁电流为 0,致使其它碳刷工作电流增大,发热加重。

### 1.4 碳刷工作小室温度过高

300 MW 发电机为了维持转子碳刷工作小室的环境温度,设置了独立的通风冷却系统,配置了碳刷冷却风机。若碳刷冷却风机工作异常或冷却风道堵塞,碳刷小室的冷却风量减少,集电环及碳刷工作时产生的热量不能及时带走,将造成碳刷工作小室温度过高。碳刷小室工作温度过高,将加重碳刷的发热及加快集电环氧化膜的形成,恶化了碳刷的工作环境。

## 2 碳刷的运行维护对策

### 2.1 加强碳刷运行中的巡视检查及调整

300 MW 发电机转子碳刷的运行维护应注重事前控制。若发电机转子个别碳刷运行时出现异常或故障不能及时发现并得到有效的控制或消除时,将会逐步蔓延,最终引起转子碳刷部件大量烧损、出现环火等严重故障。因此对发电机转子碳刷运行中的巡视检查工作显得尤为重要,运行人员要具有高度的责任心,检查工作务求认真、细致。检查的项目应包括:

1) 定期用直流钳表测量每个碳刷的运行电流,各碳刷的分担电流应较为均衡,且在 10~90 A 之间为正常。超出此范围的碳刷应引起特别注意,

增加检查次数,若碳刷电流为 0 或大于 200 A 要及时查明原因,进行调整。

2) 定期用测温仪测量每个碳刷的表面温度,80℃ 以下为正常,超出范围的碳刷要及时进行调整。

3) 用目测或手摸的方法检查碳刷有无振动、跳动、冒火现象。若有则及时调整消除。

4) 用手拉刷辫的方法检查碳刷是否存在卡阻现象,检查碳刷弹簧是否有压力不均或失效现象。若有则查明原因并消除。

5) 检查各个碳刷的刷体长度,低于规程长度要求的碳刷应及时更换。

6) 检查碳刷工作小室的温度,以不大于 50℃ 为宜。超出范围应检查碳刷冷却风机运行情况,并及时处理。

### 2.2 规范碳刷运行中的维护工作

运行人员在对出现异常或故障的发电机转子碳刷进行调整或处理时,若方法不当,极易引起异常或故障处理无效甚至扩大,因此碳刷运行中的调整工作必须规范化,并遵循以下原则:

1) 运行人员必须按规程要求做好严格的安全措施,防止在碳刷调整或处理过程中出现人员触电或转子短路和接地事故。

2) 处理碳刷之前应视碳刷的故障程度,适当降低转子励磁电流,必要时降低机组有功功率。

3) 更换的碳刷必须采用与其余运行碳刷同型号且质量良好的碳刷,同时应尽量采用同批次、同形状的碳刷。因为不同批次生产的碳刷其工艺质量会有所差异,不同形状的碳刷其电阻值会有所差异。湛江电厂就曾出现过更换了部分同型号(D-172),但原转子碳刷不同批次、形状略有不同(原为方头碳刷、新为圆头碳刷)的碳刷,而造成碳刷经常烧损的故障。

4) 更换碳刷前应依据集电环的圆度将新换的碳刷的运行接触面磨出一定的弧度,使碳刷与集电环能保持充分接触。同时要保证碳刷与刷握内壁有 1~2 mm 的间隙,防止碳刷膨胀卡阻。

5) 更换碳刷后要检查碳刷刷辫是否与刷架接牢,碳刷在刷握中能活动自如,碳刷弹簧压紧力均匀,无跳动现象。

6) 正常更换过短的碳刷时,每排不宜超过碳刷总数的 20%。

7) 碳刷工作小室温度高时,应重点检查其通风冷却系统的工作情况,不宜将小室的隔离罩、门打开降温,防止外界灰尘、杂物进入小室,对碳刷运行造成不利影响。

(下转第 81 页 continued on page 81)

分析: 发电机发生矢量变化报警跳闸前发电机已正常运行一个多小时, 且停机重新启动后, 能正常运行至晚上十点停机。这样可以基本排除发电机本身故障的可能性。对发电机多次发生故障的情况进行反复比较后发现, 发电机发生报警停机多集中在早晨七点左右, 正好是宾馆内工厂开工的时间, 该宾馆工厂有几台大容量的生产用电炉, 容量在 10 kW 到 20 kW 左右。该电炉启动时启动容量较大, 按照启动电流是额定电流的七倍计算, 启动功率达到 70 kW 到 140 kW 左右, 同时它需要大量的无功功率。虽然在低压配电柜侧有电容功率补偿柜, 避免了对大电网的冲击, 但对于宾馆内部发电机系统来说冲击还是较大的。其谐波会对系统内电压的波形造成影响, 改变电压波形。同时早晨在电炉未启动前整个宾馆负荷较低, 电网的电压偏高, 可以达到 404 V 左右。而发电机的矢量变换继电器波形变化阈值  $\alpha$  默认设定值为  $5^\circ$ , 其值较小, 对电网波形的变动较为敏感, 大容量感性负载的启动容量相对于发电机组凌晨运行时的负荷 (100 kW 左右) 来说是较大的, 电压跌落较为明显, 电压波形变化较为明显, 实际波形与参考波形之间的相位角变化幅度超过设定值  $5^\circ$ , 因此屡次造成矢量变化报警。

#### 4 故障解决

在了解了报警原因后, 对发电机矢量报警参数进行了重新修正。矢量报警阈值的设定范围为  $2^\circ \sim 20^\circ$ 。根据相关资料, 了解到 VS 继电保护设定为  $2^\circ$  对应 0.1 Hz/s 的频率变化误差 (该值为整定最小值),  $10^\circ$  时对应 0.5 Hz/s 的频率变化误差 (该值为整定中等值),  $20^\circ$  时对应 1.2 Hz/s 的频率变化误差 (该值为整定最大值)。根据我国的电网规范, 我国电网的频率误差要求不大于 0.5 Hz。因此尝试将报警阈值由原来默认的  $5^\circ$  增加到  $10^\circ$ 。在此后

(上接第 71 页 continued from page 71)

#### 2.3 做好机组停运时与碳刷运行有关部件的维护工作

1) 停机后对集电环、碳刷刷握、刷架进行吹扫和清抹, 保证部件的清洁度。对处于潮湿地段及停机时间较长的机组要做好集电环、刷握等金属部件的防锈、除锈工作。

2) 停机后应测量集电环的圆度、同心度, 超出允许范围应及时进行纠偏。

3) 对于出现电腐蚀的集电环, 停机后应及时进行抛光打圆处理, 必要时可根据集电环的磨损程度, 换极运行。

的几天内, 发电机自早晨六点开机后未再次发生矢量变化报警。这样可以判定宾馆系统内的电压波形的变化一般在  $10^\circ$  以内。

由此可以得知在系统内有大容量感性负载启动时, 较大的启动容量造成电压的跌落, 同时也会产生大量的谐波造成电网波形的畸变。虽然这个冲击随着感性负载的正常运行而减弱, 但由于发电机的矢量继电器的设定值偏小 (接近最小值), 动作特别敏感, 没有考虑到我国的电能质量较差, 电气设备防止谐波产生和降低启动容量的措施还不够完善, 2 号机组相对容量又较小, 因此矢量继电器往往容易误动作。因此对小型并网机组而言, 矢量继电器的整定值在  $10^\circ$  左右较为合适。

#### 5 结论

发电机组的出厂保护设定有时并不适合现场的使用情况, 因此需要对某些设置进行调整。而国外的小型发电机组的并网规范在我国并不一定适用, 考虑到我国的电能质量情况, 我们亟需制定适合中国国情的小型发电机组的并网规范, 促进热电联供项目的进一步发展。

#### 参考文献

- [1] Michael Woodworth. Electrical Control Aspects of Small Scale CHP[Z]. BSC AMIEE.
- [2] Freitas W, Xu Wilsun, Affonso C M, et al. Comparative Analysis Between ROCOF and Vector Surge Relays for Distributed Generation Applications[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2005, 20(2).

收稿日期: 2006-10-26; 修回日期: 2006-11-22

作者简介:

吴伟炯 (1977-), 男, 硕士研究生, 研究方向为电力系统及其自动化。E-mail: lszzsd@81890.net

#### 3 结束语

对 300 MW 发电机组的转子碳刷采用上述运行维护对策能有效地减少或消除碳刷各种常见的故障, 避免转子回路失磁、转子短路等严重事故的发生。若对碳刷运行中检查维护工作做的好, 将大大降低碳刷故障后的调整处理工作量, 取得事半功倍的效果。

收稿日期: 2006-09-08

作者简介:

杨凯 (1972-), 男, 硕士研究生, 电气工程师, 主要从事发电运行管理工作。E-mail: zjyangk@163.com