



# 大型汽轮发电机集电环高温原因分析及 解决方法和案例研究

沈德华

华电内蒙古能源有限责任公司包头发电分公司

电邮: 314387968@qq.com

**摘要:** 某发电厂 600MW 汽轮机组, 在高负荷运行阶段, 集电环存在温度高、碳刷电流分布不均、电刷有频繁打火现象, 对发电机安全稳定运行造成直接威胁。为了及时消除设备隐患, 利用全面质量管理体系, PDCA 循环等方法, 恰当运用统计工具和其它科学方法, 对集电环高温进行分析研究, 确定了集电环高温的主要原因, 利用机组检修阶段进行集电环改造工作, 并加装在线测温装置而且具备冷却通风功能, 彻底解决集电环高温问题, 保证发电机安全稳定运行。本文通过分析研究, 应用新方法彻底解决存在的隐患, 提出防范此类异常的具体措施。

**关键词:** 汽轮发电机;集电环;原因分析;在线测温

## 0 引言

发电机集电环是转子励磁电流的承载体, 也是高速转动的接触部件, 集电环和电刷是通过相互滑动接触导通励磁电流。正常运行情况下, 发电机负荷增加时, 励磁电流也会随之增大, 集电环温度也会有显著变化, 所产生的热量由通风系统带走, 即发热和散热达到基本平衡。集电环在运行中由于多种原因, 造成温度偏高现象, 由于维护不当或碳刷质量差, 可能存在压簧压力变小, 氧化膜形成不好, 接触面粗糙度过大或者过小, 碳刷在刷盒中卡涩, 环境通风不良、接触电阻过大或电流分布不均匀等异常情况, 也可能因电刷的研磨性过强而集电环的表面不平等原因, 导致集电环接触不良, 滑动摩擦不顺畅发热, 进一步引起发热、产生火花、烧损电刷刷握及集电环等故障, 更严重的超温运行将导致整个发电机设备的损坏。

## 1 概述

某发电厂 600MW 汽轮机组, 于 2007 年 6 月投入正式运行, 型号为 QFSM-600-2YH, 采用自并励励磁方式, 发电机电压为 20kV, 额定电流为 19245A, 额定励磁电压(90 计算值) 421.8 V, 额定励磁电流(计算值) 4128A, 励磁系统为自并励静止可控硅整流励磁系统, 发电机集电环上共有碳刷 128 块, 正负极各 64 块。自 2020 年 9 月以来, 尤其在高负荷阶段 500MW 以上时, 集电环存在温度高、碳刷电流分布不均现象, 用红外测温仪监测#2 发电机集电环温度、

发现经常出现高温现象(2020年11月19日,#2发电机负荷553.7MW,集电环温度最高121.4° 偏高,标准要求:运行时要求低于120°)随着温度的升高次数的增多,集电环整体运行温度比以往有显著的升高。

## 2 历史问题统计

通过查询缺陷管理系统和设备检修台账,对#2汽轮发电机在2007年06月投产以来发电机集电环近五年以来存在的问题进行统计主要有以下问题:

- 1) 刷辫松动,定期提刷检查时发现刷架螺丝不牢固,容易接触不好导致刷辫过热。
- 2) 碳刷电流分配不均,新更换的碳刷与滑环接触不良,其余碳刷承担了较多电流,经多次测量电流发现运行最大电流110A,最小为12A,分流效果不佳。
- 3) 刷架磨损,定期提刷检查时发现碳刷卡涩无法上下自由移动,拔刷架进一步检查发现螺丝松动,刷架错位和集电环间隙太小,造成集电环表面磨损,氧化膜被破坏。
- 4) 碳刷发热严重,尤其在夏季高负荷情况下,环境温度升高后随着负荷增高集电环和碳刷温度更高,碳刷接触镜面存在放电痕迹,表面出现微小孔洞。

通过历年数据分析研究,发现集电环运行时异常情况逐年增加,不仅有电气磨损,还有机械磨损,需要查找发生问题的主要原因并进行彻底处理。

## 3 现状调查

2021年1月-2021年3月,用红外测温仪监测#2发电机集电环温度、钳形电流表测量运行电流,各别碳刷存在电流分布不均衡现象,拔取刷盒后进一步检查集电环表面发现由于使用年久滑环被碳刷拉伤的位置较多,碳刷接触镜面存在刮痕。集电环运行温度偏高,碳刷有高温情况,尤其在高负荷阶段,运行温度有持续上升趋势。#2发电机集电环温度偏高碳刷记录并汇总如下表:

时间	碳刷位置	温度	时间	碳刷位置	温度	碳刷位置	温度
1月2日	#2-3、#5-1	85℃、76℃	2月1日	#21-2、#15-3	91℃、82℃	#18-2、#17-1	86℃、90℃
1月3日	#11-2、#15-1	73℃、80℃	2月2日	#15-2、#19-3	76℃、79℃	#14-2、#16-1	96℃、105℃
1月5日	#6-3、#14-1	75℃、86℃	2月4日	#21-3、#25-1	75℃、83℃	#21-2、#15-3	92℃、88℃
1月7日	#9-3、#16-1	83℃、87℃	2月6日	#9-3、#15-4	82℃、97℃	#21-2、#15-3	91℃、110℃
1月9日	#18-2、#17-1	75℃、86℃	2月7日	#9-3、#26-1	72℃、81℃	#15-2、#19-3	92℃、114℃
1月12日	#14-2、#16-1	87℃、82℃	2月10日	#18-2、#17-1	73℃、89℃	#21-3、#25-1	84℃、109℃

1月13日	#21-2、#15-3	95℃、78℃	2月11日	#14-2、#16-4	75℃、84℃	#2-3、#5-1	113℃、94℃
1月15日	#15-2、#19-3	93℃、84℃	2月13日	#21-1、#15-3	83℃、77℃	#11-2、#15-1	85℃、96℃
1月18日	#21-3、#25-1	87℃、77℃	2月15日	#15-2、#13-1	73℃、86℃	#6-3、#14-1	95℃、109℃
1月20日	#17-3、#5-1	75℃、83℃	2月18日	#2-2、#5-1	83℃、81℃	#9-3、#16-1	105℃、92℃
1月21日	#11-2、#25-1	82℃、77℃	2月20日	#14-2、#15-1	92℃、88℃	#11-2、#25-1	95℃、104℃
1月22日	#18-2、#10-1	79℃、85℃	2月23日	#6-3、#12-1	91℃、87℃	#18-2、#10-1	91℃、109℃
1月24日	#14-2、#19-1	75℃、79℃	2月25日	#9-3、#26-1	84℃、78℃	#11-2、#25-1	105℃、98℃
1月27日	#22-3、#5-1	78℃、86℃	2月26日	#11-4、#15-4	77℃、84℃	#16-4、#19-3	103℃、92℃
1月29日	#12-3、#18-1	82℃、78℃	2月28日	#12-2、#17-1	85℃、79℃	#19-4、#26-1	96℃、107℃

通过#2 发电机集电环温度碳刷记录表可以看出，随着运行时间的增加，温度总体有升高趋势，更换碳刷或者更换恒压弹簧和提刷调整压力都无法使温度降低，针对发现的问题，需要查找发生异常的主要原因，及时消除高温隐患，保证发电机安全稳定运行。

## 4 原因分析：

### 4.1 现场异常分析

2021年04月09日#2 机组停机进行小修工作。将集电环所有碳刷取出后，对集电环进行全面检测，主要包含以下项目：转子静态下检查集电环（内外环）的椭圆度和稍度，按数字标志分别对称进行测量，并记录好相关数据。集电环（内外环）着色探伤，重点检查裂纹、裂缝；探伤时，注意保护好导电螺钉及集电环的绝缘套，以免探伤液体流入而影响导电螺钉的绝缘电阻及腐蚀绝缘套。转子盘车状态下用百分表重点测试转子的跳动，并详细记录相关数据。具体检测数据如下表：

项目	外环（Φ380）			内环（Φ380）		
	水平			水平		
	内	中	外	内	中	外
修前	Φ380.05	Φ378.55	Φ380.04	Φ380.20	Φ379.30	Φ380.30
修前	局部伤痕			局部伤痕		
修前	跳动 0.06			跳动 0.08		

04月检修前测量集电环各部测量数据表



图一 集电环（东侧）



图二 集电环（整体）

#2 发电机集电环外观检查磨损严重，表面形成高低不等的深沟和拉条纹，检查表面高低凹凸相差 0.5~1.6mm，椭圆度、平行度严重超标，电刷表面有电腐蚀痕迹，电刷有频繁打火现象，检查集电环的圆柱度超标，表面光滑度不达标，集电环产生单极性磨损。

#### 4.2 发热相关因素分析

集电环温度过高主要有三种原因：机械磨损大、电流所引起损耗增大、散热不良。发生高温时有时因单一因素所致，有时是多种因素共同作用所致。

4.2.1 机械磨损消耗与集电环表面粗糙度、碳刷的压力、碳刷摩擦系数、滑环线速度等密不可分。欲要摩擦损耗小， $\nabla 8$  以上才合格。单从摩擦损耗角度，碳刷压力越小越好，但从电流导通角度，压力大更佳，所以碳刷压力过大或过小都不好，最佳选择就是折中平衡。常用国产碳刷 D172 压强为 14.7~19.6kpa，碳刷技术参数有多项（如电流密度、电压降、极限速度等），不能追求其中一项达到极小，不计其余项参数，应综合考虑。权衡各种因素的利弊，使各项参数均能达到运行要求，故有时须选择摩擦系数较大型号。汽轮发电机集电环表面的线速度很高（约 50~70m/s），由制造厂决定。

综上所述，要降低集电环机械摩擦损耗，在电厂现场对集电环表面进行磨削抛光，使之圆滑。碳刷型号有两三种。同一型号，不同生产厂家，质量有异。同一型号、厂家，不同批



次，质量均有差异。因此，碳刷需得是同一型号、厂家、批次，方能安装在同一集电环使用，否则极易出现异常。

4.2.2 电流所产生的损耗增加的原因。与转子励磁电流有关，或与机组有功负荷及无功负荷有关，如果励磁电流超过额定值，集电环温度随之超标，因碳刷电流分配不均所致。碳刷质量不良，也是电损耗增大的原因之一。

碳刷电流分配不均原因，从以下几方面分析：

- 1、碳刷与刷盒之间间隙过小，碳刷不能灵活滑动
- 2、碳刷质量不良，石墨体内有硬颗粒
- 3、弹簧压力不均
- 4、集电环表面跳动过大
- 5、异物落入碳刷与刷盒间隙内，碳刷不能灵活滑动
- 6、恒压弹簧与碳刷的接触面不光滑，弹簧回弹受阻
- 7、异型号、异厂、异批号碳刷混用
- 8、未知因素。如是否产生气垫效应，是否与接触面的膜层有关

4.2.3 散热不良。新机散热不良较为少见，一般是设计的原因，由厂家自行解决。运行后的旧机散热不良仍很常见，主要是集电环上的径向和轴向通风孔被碳粉堵塞，使电刷与集电环产生的热量不能随时散出；也可能是风道有异物导致。因此，清扫风道是必要的。

### 4.3 要因确认

通过历史问题统计和现场测量实际数据综合以上分析论证，并依据末端原因对问题症结的影响并结合现场检测的实际情况，确认主要原因为：

- 1)集电环表面光洁度，不符合规程要求
- 2)弹簧压力不均衡，碳刷与刷握的间隙超标
- 3)集电环通风孔被碳粉堵塞

### 4.4 制定对策

针对确认的主要原因制定对策：利用 04 月机组停运阶段对集电环进行研磨修复，调整电刷压力至合格范围之内并更换不合格的恒压弹簧，利用新思维制作集电环通风孔清理专业工具可以和压缩空气管连接的弧形吹扫装置，具备运行中对通风孔进行高效吹扫，增加吹扫面积和吹扫质量，加装在线测温装置并在高温环境时具备强制冷却功能。

## 5 处理方法

### 5.1 集电环表面处理

为保证集电环表面与碳刷表面有良好的接触性能，必须对集电环表面作精处理，严格控制集电环质量控制的 3 个指标：跳动、锥度及表面粗糙度。跳动及锥度通过车刀或磨刀能够满足技术要求。在进行集电环磨削时，须注意发电机盘车状态下集电环的线速度与走刀速度的配合，在加工时，发电机的轴向走刀速度必须保证集电环转一周后，才能轴向走刀，以防止在集电环表面出现螺旋加工痕。磨削后，再用抛光轮进行抛光，控制表面粗糙度 Ra0.8 以下。集电环研磨处理后对集电环进行技术指标测量并记录汇总如下表（二）：

项目	外环 (Φ380)			内环 (Φ380)		
	水平			水平		
	内	中	外	内	中	外
修后	Φ 378.45	Φ 378.50	Φ 378.54	Φ 379.08	Φ 379.05	Φ 379.02
修后	▽6			▽5		
修后	跳动 0.015					
修后	光洁度 0.15~0.28 μm					

内外集电环研磨处理完工后测量的相关数据表（二）

### 5.2 刷握及恒压弹簧处理

对损坏的刷握更换为发电机原厂的刷握，不能随意更改刷握的厂家和型号。对卡板进行维修，卡板的作用是将碳刷控制在刷握上，在安装时不会上下活动，为避免碳刷直接在压簧的作用下打到集电环上，取刷握时将碳刷固定在刷握内。对刷握上所有紧固螺丝进行全面检查并用清洗液清理刷握积污，回装时碳刷与刷握的间隙应为 1~0.2mm，测量恒压弹簧压力不合格进行更换，提刷检查碳刷在刷握内应上、下活动自如，运行时碳刷应无跳动、摇摆或卡涩的情况。

### 5.3 转子滑环通风不畅处理

以前定期应用干净干燥的压缩空气来吹滑环积粉，吹扫面积较小，积粉吹扫不彻底，小孔有堵塞现象，为缓解滑环小孔的堵塞情况，设计一款和集电环尺寸相同的环形吹扫装置达到高效除尘的效果。对集电环小室外罩进行改造，新设计的通风冷却进出风道采用上进下出风结构，进风口设置在外罩小室顶部，减少通风管道弯折程度，防止噪声叠加增大，并增加进风口噪声吸音结构，降低噪声等级，而出风口仍然布置在中间层，最终达到减小管道通风阻力、避免冷热风混流，对进风口滤网给予定期检查与清理，确保进风的风量和清洁性。

## 6 防范措施

6.1 在#2 发电机集电环加装在线红外测温装置,全面的监测集电环的整体温度情况,并着重关注更换碳刷后的温度情况,同时还要监测不同负荷情况下温度是否在合格范围内。

6.2 定期检查刷握间隙及恒压弹簧压力,保证刷握和集电环的距离(2~3mm)符合要求,对于不合格的及时调整间隙,检测压力(12N-15N)对不合格的恒压弹簧进行更换。

6.3 购买原厂碳刷,对新碳刷和旧碳刷进行比较,相差无异合格的才可以替换。

6.4 机组停运后,用专用吹扫工具进行吹扫,尤其是绝缘筒外伸段(约15~20mm),不得附有碳粉,提高绝缘电阻,防止两环之间发生闪络放电或短路放电。若端面有油污,须用丙酮擦净。

6.5 机组大、小修时,应对集电环进行倒极性,平衡正负极磨损量,使两环的电解作用趋向均衡。

## 7 结束语

本文对集电环出现的问题进行分析研究,根据集电环结构、冷却装置结构、滑环表面检查情况,确定了集电环发热的主要原因并找到了有效的解决方法,采取有针对性的预防措施在集电环加装在线红外监测装置。利用在线诊断系统对发电机集电环温度进行实时监测,从温度变化趋势上识别某些潜在或者发展中的故障及时发现隐患,若运行时集电环温度突然发生异常情况,运行人员即可根据温度变化情况及时调整发电机运行状态。发电机集电环运行的异常情况,如果处理不当或者不及时,将会造成很严重的后果,因此必须要加强集电环的维护,制定科学的维护制度,发现问题要及时采取措施,保证发电机长期可靠安全运行。

### 参考文献:

- [1] 杨成余. 汽轮发电机集电环和碳刷的维护与检修[J]. 电力安全技术, 2014, 16(04)
- [2] 崔小雷. 火电厂 600MW 汽轮发电机碳刷打火的原因及处理方法[J]. 内蒙古科技与经济, 2021(01): 119-120.
- [3] 陈淦良. 电力行业发电机集电环装置典型故障原因及整改措施探究[J]. 能源与环境, 2019(05): 48-49+52.
- [4] 王绍平. 发电机滑环电刷发热的原因分析及处理方法[J]. 华电技术, 2012, 34(06): 51-53+79.
- [5] 沈琦, 刘刚, 季学友, 潘明泽. 红外热成像技术在发电机碳刷滑环中的应用[J]. 仪器仪表用户, 2021, 28(06): 101-103+5.