高炉 TRT 发电机转子匝间短路诊断与处理[*1]

刘利强，邵晓斌，高铁军

（内蒙古包钢（集团）电气有限公司，内蒙古 包头 014010）

摘 要：文章通过讲述高炉 TRT 发电机组起车达到额定转速运行状态良好，并网发电后定子及轴承座振动严重超标，利用频谱分析其振动原因，详述其处理过程，总结中小型发电机转子匝间短路后定转子振动特征、检测匝间短路方法及转子匝间短路处理工艺。

关键词：发电机；匝间短路；定子振动

中图分类号：TM312.2 **文献标识码**：B **文章编号**：1009－5438(2017)06－0014－03

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2017.06.007

Diagnosis and Treatment of Rotor Winding Inter－turn Short Circuit Fault in Blast Furnace TRT Electric Generator

LIU Li－qiang, SHAO Xiao－bin, GAO Tie－jun

(*Electric Co. Ltd. of Inner Mongolia Baotou Steel (Group) Corp.*, *Baotou* 014010, *Nei Monggol*, *China*)

Abstract: In the paper, the operation of blast furnace TRT generator unit when starting and reaching rated speed is in good condition, however the vibration of stator and bearing pedestal seriously exceeds the standard after grid－connected power generation. The vibration reason is analyzed by frequency spectrum, and the processing process is described in detail. The vibration characteristics of stator and rotor after inter－turn short circuit fault, the method of detecting inter－turn short circuit fault and the treatment process of rotor winding inter－turn short circuit fault are summarized.

Key words: electric generator; inter－turn short circuit fault; stator vibration

高炉煤气余压透平发电装置（即 TRT）是利用高炉冶炼的副产品—具有压力能及热能的高炉炉顶煤气，通过透平机做功，将其转化为机械能，再将机械能转化为电能。TRT 可实现能量回收再利用，同时还能降低环境噪音调节炉顶压力，是一项利企利民环保清洁的发电方式，在大多数钢铁企业得到广泛的应用。包钢现有 7 台高炉 TRT 发电机，随使用年限的增加，检修过程中遇到过各种机械电气故障，检修前全面、快速、准确诊断故障，检修过程逐一排除，从保护环境增加企业效益方面来讲都非常有意义。如近期包钢 6#高炉 TRT 检修后起车过程发生了一起发电机转子匝间短路故障，检修工期增加了 15 天。

1 故障现象及诊断过程

1.1 故障现象

2014 年 4 月 12 日包钢 6#高炉 TRT 检修后，起车发现机组运行正常，并网后随着输出功率增加，轴承座、定子机壳振动增大，输出功率 6 000 kW·h，振动报警。图 1 为采集振动数据采集点分布图，传感器为速度传感器（灵敏度 200 mV/(cm·s^{-1})）。

* **收稿日期**：2017－03－31

作者简介：刘利强（1978－），男，内蒙古乌兰察布人，高级工程师，主要从事电机修理及旋转设备故障诊断工作。

中国知网 https://www.cnki.net

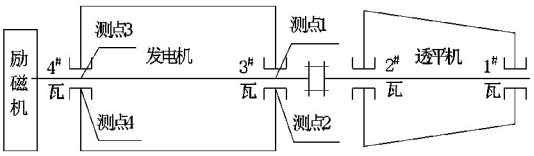


图 1　振动监测点布置图

表 1 为使用 VMS－04B 振动分析系统采集的刚起车及并网后各测点振动速度数据。

表 1　轴承座 3 000 r/min 时各测点振动值　　mm/s

状态	测点 1	测点 2	测点 3	测点 4
起车后	3.35	2.97	3.06	1.31
并网后	4.05	5.12	3.32	1.86

起车转速达到额定状态，各方面数据没有明显变化，机组已经处于稳定状态，设备运行状态良好。图 2 所示为起车后定子机壳振动频谱。

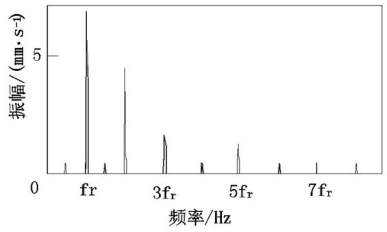


图 2　起车后定子机壳振动频谱图

并网后随着发电机输出功率增加，各测点振动值明显增大，从频谱上看各测点倍频幅值略微增大，同时各测点出现 0.5、1.5 倍簇状分频，如图 3 所示。

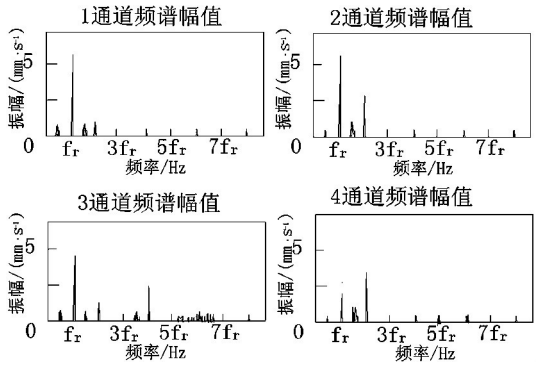


图 3　并网后监测各测点的频谱图

1.2　故障诊断

并网后随输出功率增大，机组振动持续增大。点测发电机定子机壳振动异常，振动速度值达 10.29 mm/s，带动基础振动。现场检查未发现明显的机械故障，可能是电气故障导致发电机振动。

机组自投产以来，运行 6 年多从未抽芯彻底检查定转子绕组，也未清洗吹灰，可能由于长时间发电机内部积灰，导致匝间短路。

在一定的运行条件下，如果存在转子匝间故障，由于励磁绕组有效匝数减少，为满足气隙合成磁通条件，励磁电流必然增大。本发电机为无刷同步发电机，励磁电流值很小，正常发电时励磁电流 (3.6 ±0.05) A，励磁电流的微弱变化并不能判断发电机匝间短路。

采集定子壳体振动频率，除工频成分较高外还有大量高频成分，但 2 倍频幅值相对降低(如图 4 所示) 。工频幅值高可能由于定子所受电磁力不平衡造成。不对称电磁力的频率等于转子磁极对数乘以转子工作频率，对于两极发电机转子来说，不对称电磁力频率与转子工作频率相等[1] 。

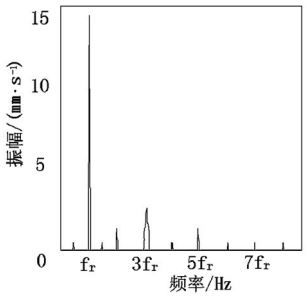


图 4　并网后监测定子壳体的频谱图

当转子某极绕组发生短路，气隙主磁场分布减弱，其中短路匝绕组旋转过程中产生反向电势，对主磁场的影响相当于反向磁场与正常磁场的叠加。作用于定子内圆表面单位面积径向电磁力对空心圆柱形定子产生弹性圆柱壳体的振动，定子的振动特性决定于分布电磁力的脉振特性。

对于两极发电机，极对数等于 1，转子匝间短路引起气隙高次谐波磁势的同时，减弱了基波磁势，根据定子低阶振型的特点，定子 2 fr 频谱振幅下降。根据采集定子频谱及经验初步断定发电机转子存在匝间短路。

停机后断开发电机与透平机，重新分解发电机，抽芯检查发电机转子。决定返回原厂，发电机转子做一次全面检查(南京汽轮机厂) 修复。

返厂后测得转子直流电阻 0.528 5 Ω，与出厂试验值偏差不大。从理论上讲匝间短路时直流电阻要减小，但是实际上发生轻微的匝间短路时直流电阻

中国知网　https://www.cnki.net

测量的数据变化很小且受实验方法设备灵敏度的限制测得的结果,并不能很好的判定转子绕组是否真正存在问题,测量转子的交流阻抗,与原始数据进行比较判定转子是否存在匝间短路(如表2所示)。当绕组发生匝间短路时,在交流电压下,流过短路匝的短路电流比正常绕组中的电流大N倍,(N为槽中线圈总匝数).这个短路电流有很强的去磁作用,使得转子绕组的交流阻抗大大下降[2]。

返厂后通过电气试验检测转子阻抗发现,由于转子护环内积灰造成匝间短路。

表2 转子交流阻抗检查

检测位置	电压/V	电流/A	阻抗/Ω
套护环前	170	3.5	48.6
套护环后	170	4.6	36.9

2 故障处理

拆除发电机转子护环,清洗干燥后,根据工艺要求处理匝间绝缘,做半成品电气试验。

转子绕组发生匝间短路,由于短路匝不能流过电流,与短路匝线圈所绕的两槽邻接的齿部温度就比正常部位低,使转子横截面上温度分布不均匀,发生热弯曲,可能会导致转轴热变形。因此返厂检修时重新校准转轴各部位尺寸及形位公差。

转子重新做动平衡校准试验,修复后,运至现场重新安装,并网后设备运行状态良好,采集信号稳定仅有1倍、2倍转频,振动数据如表3所示,定子壳体最大振动值1.12 mm/s。

表3 修复后并网各测点振动值 mm/s

位 置	测点1	测点2	测点3	测点4
振动值	2.13	3.32	1.19	1.16

3 结论

发电机作为一个整体,机械与电气相互耦合,电气故障会引起气隙磁场畸变,产生不同于正常运行时的电磁力波,从而激起发电机径向电磁振动。

(1) 发电机转子匝间短路引起热不平衡和磁不平衡,激发定转子工频振动,尤其是定子振动幅值远高于轴承座振动幅值。

(2) 对于一个极对数的发电机,转子匝间短路故障将使定子2倍频振动幅值下降。

(3) 转子某槽绕组存在匝间短路时,气隙磁密发生变化,短路匝绕组对应的气隙磁密将减小,基于电磁力和磁密平方成比例,将产生不平衡电磁力作用于转子,此不平衡电磁力与转子同步旋转,将激发转子与机械旋转频率同频的振动。

(4) 发电机转子匝间短路绕组直流电阻变化不大,交流阻抗大幅下降。

参 考 文 献

[1] 李永刚,李和明,赵华.汽轮发电机转子绕组匝间短路故障诊断新判据[J].中国电机工程学报,2003,23(6):112-116.

[2] 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.

中国知网 https://www.cnki.net