包钢5#高炉TRT发电机组振动故障诊断与处理

刘利强,邵晓斌,张宏强

(包钢集团电气有限公司,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 文章针对包钢炼铁厂5#高炉TRT发电机组检修后起车困难,通过四通道时域波形的采集,利用频谱分析及有关故障诊断理论,对发电机组各测点振动进行了分析,得出力偶不平衡导致轴系紊乱,引起设备异常。在发电机振动处理过程引入现场动平衡技术,通过在线动平衡,有效解决力偶不平衡对轴系的影响。

关键词: 发电机; 在线动平衡; 对中; 故障诊断

中图分类号: TF083.2 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2018)06-0061-04

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2018.06.017

Diagnosis and Treatment for Vibration Fault of TRT Generator Set of 5# Blast Furnace of Baotou Steel

Liu Li-qiang, Shao Xiao-bin, Zhang Hong-qiang

(*Electric Co., Ltd. of Baotou Iron & Steel (Group) Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: In the paper, the vibrations of every measure point for generator set are analyzed with the spectral analysis and the related fault diagnosis theory through collecting the four channels time domain waveform aiming at the difficalt startup after the overhaul of TRT generator set of 5# blast furnace in Iron-making Plant of Baotou Steel. It is found that the imbalance of couple causes the disorder of shafting so that the equipment is abnormal. The effects of imbalance of couple on shafting are effectively eliminated by introducing the online dynamic balance technology in the treatment of vibrations of generator on site.

Key words: generator; online dynamic balance; alignment; fault diagnosis

包钢炼铁厂5#高炉TRT发电机组利用高炉煤气余压发电,实现能源转化和再利用。TRT透平发电机利用高炉煤气余压,通过透平转子膨胀做功,实现能量装换,其结构复杂,转速高。动平衡因素、对中因素、轴瓦支撑刚性等是影响发电机稳定运行的关键因素。

1 故障现象

2017年11月包钢5#TRT发电机组发生超速事故,造成发电机励磁机扫膛,励磁转子铁芯叠片磨损,线圈短路。为了尽快恢复维持发电,发电机更换了同型号的励磁机定转子,透平机转子返厂检查,做

收稿日期: 2018-07-20

作者简介: 刘利强(1978-),男,内蒙古乌兰察布市人,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

高速动平衡。2018年5月,更换了修复的原励磁转子,并进行常规检查,试车机组振动异常无法运行。图1为发电机组传动简图。

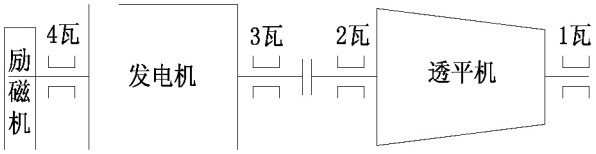


图1 TRT发电机组传动简图

5月8日检修后按照正常起车规程起车,待转速达到1 900 r/min时,发电机传动端轴承座,即图示3瓦,垂直振速从0.8 mm/s突变至4.0 mm/s,转速升至2 000 r/min时,3瓦垂直振动下降,之后随着转速上升,发电机传动端水平测点、垂直测点振动逐渐上升,趋势如图2所示,发电机非传动端即图示4瓦,各测点振速随转速上升逐步增大,2 700 r/min时4瓦水平振速达10 mm/s,垂直测点及轴向测点振动超标,发电机振动异常被迫停机。

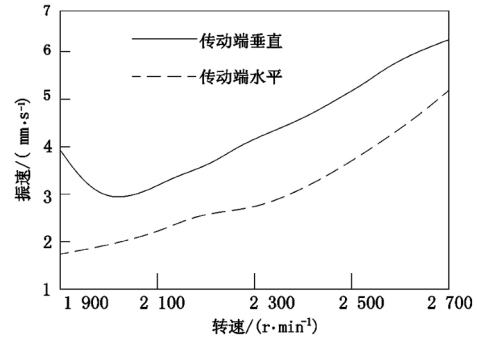


图2 TRT发电机组3瓦升速振速趋势图

停机过程连续采集了降速过程振动数据,3瓦、4瓦各测点振速值同一转速下,较升速过程明细减小,降速过程3瓦各测点振速如图3所示。

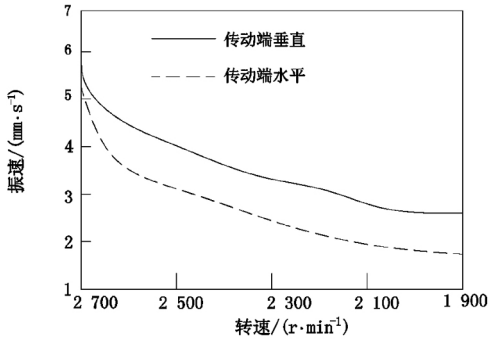


图3 TRT发电机组3瓦降速过程振速趋势图

起车过程3瓦垂直振速发生突变,突变点根据频谱分析认为以下原因引起:

(1)利用速度传感器直接采集,从波形图上明显看出有"削顶"现象,判断转轴可能与轴瓦顶部有碰擦,因在之前检修中利用全站仪,对各轴承座剖分面进行标高检测,3瓦轴承座整体偏低,起车过程因煤气压力波动,导致轴系不稳定,引起转轴与轴瓦上部碰擦,碰擦导致轴承座垂直测点振速突变[1]。

(2)检修中轴系对中未考虑透平机热态膨胀,热态下透平机与发电机径向对中发生渐变,导致对中精度低,停机后检查3瓦及4瓦,检查发现3瓦顶部有明显擦伤。停机后热态复测对中数据,与冷态对中数据有较大偏差,热态刚停机发电机径向较透平机低185 μm,4 h后发电机径向较透平机低90 μm,热态运行过程透平机轴心升高。

温度对轴系对中影响,对中的最终目的是保证轴系中每一个转子在热态下,转子质点心线尽可能重合。对于挠性转子在冷态状态下,因本身自重转轴有一定挠度,一阶临界以下转子静刚度大于动刚度,一阶临界以上转子动刚度大于静刚度,对于挠性细长型转子,为保证热态下转子水平度,冷态下对中半联轴器应处在上张口状态。中小型发电机组中透平机、汽轮机等转子运行在高温高压的环境下,轴支座与转子本身膨胀量明显高于发电机转子,冷态对中过程中驱动转子应低于发电机转子[2]。

发电机组停机后,重新调整发电机与透平机对中,发电机径向较透平机高150 μm,轴向对中为上张口,且将3瓦轴承座整体垫高,并加大轴瓦顶隙。

5月9日再次起车,转速升至2 600 r/min时各测点振速依然较高,4瓦水平振速可达9.5 mm/s,从频谱中看出各测点基频幅值偏高,偶数倍频非常明显,在转速2 400~2 600 r/min过程中基频相位发生120°左右畸变,因振动太大无法满足使用,被迫再次停机。

2 故障诊断

发电机转子本身已做过动平衡,且又反复排查了对中及轴瓦的问题,发电机还是无法起车,重新梳理检修流程,最终认为发电机动平衡工艺有缺陷,发电机组"飞车"后造成励磁机转子大修,大修后励磁机转子本身不平衡,励磁机转子与发电机本体转子装配后,通过发电机转子两侧配重盘,配重整个发电机与励磁机轴系的不平衡量,导致转子轴系中力偶

中国知网 https://www.cnki.net

不平衡的存在[3]。高速运行设备运转过程中一旦轴系中有力偶的存在，再加低速动平衡配重的不严谨，很容易引起轴系的扰动。因此，在挠性转子动平衡过程中，首先应对组成轴系的每个转子进行动平衡校准，然后每个转子组合后再进行整体平衡，尽可能避免转子间产生力偶。

在低速动平衡过程中，发电机转子刚性状态下运转，实际配重位置与理论配重位置角度在小于 30°范围内都有效，刚性转子对配重角度不敏感，一旦转子在一阶临界以上运行，转子刚度下降，尤其轴系中有力偶的存在，配重角度的准确性对发电机转轴乃至整个轴系影响非常明显。柔性动平衡与刚性动平衡的区别，转子在柔性状态下，轴系能真实展现转子在运行状态下的振型，通过配重的调节可尽可能将轴系的节点与轴瓦的支点靠近，从而保证转子的稳定运行，刚性动平衡通过配重改变轴心线与质心连线的偏心距。

3　故障处理

发电机转子必须做高速动平衡来解决这一问题，考虑到转子返厂做高速动平衡工期太长，费用昂贵，因此采取现场在线动平衡的方式，对发电机组轴系重新配重。

因透平机转子已做高速动平衡，且起车过程透平机侧数据稳定，轴系不平衡问题仅仅分析发电机与励磁机转子的平衡问题即可。首先，拆除发电机与励磁机边盖，对原有的配重块分布做了简要标记（见图 4、图 5）。

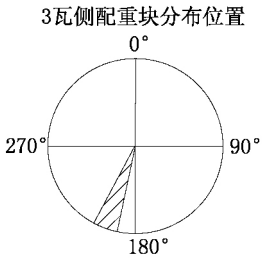


图 4　发电机 3 瓦、4 瓦侧配重块分布

考虑轴系中力偶的存在，首先去除平衡力偶的配重，去除 3 瓦侧配重盘 190°～210°范围内的配重块，同时去掉 4 瓦侧配重盘与其相差 180°位置的配重块，去除励磁机整流盘上分布的配重块。然后起车，情况明显有好转，待转速 2 500 r/min 时，4 瓦水平振速达 7.38 mm/s，为了避免振动太大会引入松动等其他干扰因素，决定在转速 2 500 r/min 时，通过检测 4 瓦水平振速值，在励磁机整流盘上进行单面配重。

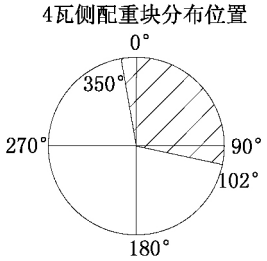


图 5　励磁机整流盘配重块分布

表 1 为 5 月 10 日发电机整流盘在线平衡校准数据。

表 1　TRT 励磁机在线动平衡校准数据

测试状态	平衡量 /g	加重位置 /(°)	1X 振幅 /(mm·s^{-1})	1X 相位 /(°)
原始振速			8.48	9
试重	105	40	6.63	28
校准	286	83	1.25	45

第 1 次配重后，发电机组在 2 500 r/min 时，3 瓦和 4 瓦水平振速分别为 1.23 mm/s 和 1.07 mm/s，情况明显有好转。待发电机转速升至 2 900 r/min 时，3 瓦和 4 瓦水平振速分别为 5.11 mm/s 和 6.99 mm/s。从频谱及相位分析认为，发电机本体不平衡导致高速下振速依然偏高，再次从发电机 3 瓦侧配重盘及 4 瓦侧配重盘，2 个面进行双面配重，配重数据见表 2。

表 2　TRT 发电机在线动平衡校准数据

测试状态		平衡量 /g	加重位置 /(°)	1X 振幅 /(mm·s^{-1})	1X 相位 /(°)
原始振速	1 面			7.87	248
	2 面			5.54	111
1 试重	1 面	148	270°	7.88	247
2 面			3.30	100	
2 试重	1 面	149	270°	9.70	244
	2 面			6.12	114
校准	1 面	265	227		
	2 面	596	109		

发电机双面动平衡校准后，2 900 r/min 时 3 瓦

中国知网　https://www.cnki.net

和4瓦水平振速分别为1.28 mm/s和6.15 mm/s，检测分析4瓦水平测点、垂直测点以及轴向测点振速依然偏大，从频谱相位判断，励磁机整流盘的不平衡故障是引起振动的主要问题，可能因励磁机配重精度不高造成，因此决定再次在励磁机整流盘上配重，以消除轴系的“甩尾”现象。表3为励磁机最后1次配重数据。

表3 TRT励磁机在线动平衡校准数据

测试状态	平衡量/g	加重位置/(°)	1X振幅/(mm·s^{-1})	1X相位/(°)
原始振速			7.69	241
试重	38.0	100	4.99	226
校准	91.6	76	0.82	319

通过3次配重，发电机起车后各测点数据平稳，3瓦、4瓦垂直与轴向振动较小，并网后转速稳定，发电机有功功率达到额定值，3瓦、4瓦各测点振速下降，均控制在2.0 mm/s左右。

4 结束语

TRT透平发电机是利用高炉煤气余压通过透平转子膨胀做功，实现能量装换。其结构复杂，转速高，动平衡因素、对中因素、轴瓦支撑刚性是影响发电机稳定运行的关键因素，尤其动平衡因素为其隐性因素。本文通过总结力偶及对中因素对高炉TRT发电机组的影响，通过在线动平衡技术有效解决这一问题，阐述了在线动平衡工艺能有效解决中小型发电机组振动问题，为中小型发电机组同类故障消缺提供指导。

参 考 文 献

[1] 杨国安. 旋转机械故障诊断实用技术[M]. 北京: 中国石化出版社, 2012.
[2] 廖伯瑜. 机械故障诊断基础[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1995.
[3] 黄志坚. 机械设备振动故障检测与诊断[M]. 北京: 化学工业出版社, 2010.

(上接第60页)

钢管后端盲区不大于20 mm; 激发和接收的超声波形为极化剪切波，极化方向垂直表面; 发射角度0°; 工作频率范围4~8 MHz。

4 结束语

包钢钢管公司460作业区NK电磁超声探伤检测设备具有技术先进、结构合理、性能优越、功能强大、自动化程度及显示波形记录直观等特点。但我们必须看到作为自动化检测设备，还存在不足，如缺乏深入的研发，更加细致的设计，在提高故障率检测等多方面问题仍需着力解决。

参 考 文 献

[1] 郑晖，林树青. 超声检测[M]. 北京: 中国劳动社会保障出版社, 2008.
[2] 张广纯. 电磁超声技术的发展与应用[J]. 无损检测, 1990, (4): 103-105.

中国知网 https://www.cnki.net