

# 四极凸极空冷发电机转子非典型振动故障的诊断与处理

高 超 叶开立 蔡华芳

上海电气电站设备有限公司发电机厂（200240）

## Diagnosis and Treatment of Atypical Vibration Fault of Rotor of Quadrupole Salient Pole Air-cooled Generator Rotors

GAO Chao YE Kaili CAI Huafang

Shanghai Electric Power Generation Equipment Co., Ltd. Generator Plant（200240）

**摘 要：**针对某电厂四极凸极空冷发电机带负荷运行期间，轴承出现非典型的振动突变现象，依据振动测试数据，结合四极凸极空冷转子结构特征，初步确定造成转子振动异常的原因。通过对转子进行解体检查和处理，并经型式试验验证，解决了转子振动异常的问题，确保了机组的安全可靠运行。

**关键词：**四极凸极空冷发电机 非典型振动突变故障诊断

中图分类号：**TM307** 文献标志码：**A**

DOI编码：**10.3969/j.issn.1006-2807.2024.02.009**

**Abstract:** Aiming at the atypical vibration mutation phenomenon of the bearing during the on-load operation of the quadrupole salient pole air-cooled generator in a power plant, the causes of abnormal rotor vibration are preliminarily determined according to the vibration test data and combined with the quadrupole salient pole air-cooled rotor structure characteristic. Through the disassembly inspection & treatment of the rotor and the type test verification, the problem of abnormal rotor vibration is solved, ensuring the safe and reliable operation of the unit.

**Keywords:** quadrupole salient pole air-cooled generator atypical vibration fault diagnosis

四极凸极空冷发电机是一种转子极对数为2、线圈绕在铁心上、采用空气冷却的发电机，其截面示意如图1所示。

某电厂燃机发电机为德国某公司生产的1DS 2093-8AD02-Z型四极凸极同步交流发电机，机组参数见表1。

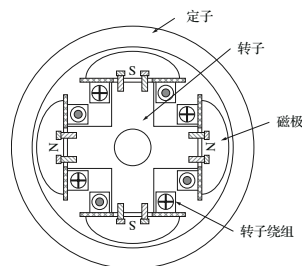


图1 四极凸极发电机截面示意

表1 发电机运行参数

参数	数值	参数	数值
转速/(r/min)	1 500	转子电压/V	64
频率/Hz	50	相数	3
功率因数	0.85	冷却方式	空冷
接线方式	Y Y	绝缘等级	F
质量/t	82.2	励磁方式	无刷他励
定子电压/kV	10.5		

该发电机转子结构如图2所示，转子从非驱动端到驱动端的部套件依次为励磁机转子、励端风扇、转子本体、汽端风扇和联轴器等。励磁机转子热套在发电机转子上。转子本体从上到下的部套件依次为极靴板、极靴螺钉、极靴衬垫和转子绕组等，见图3。

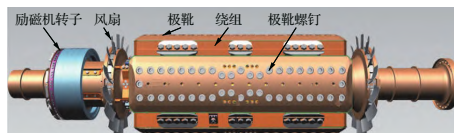


图2 四极凸极发电机转子结构

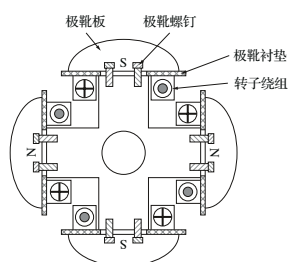


图3 转子本体结构示意图

## 1 振动异常初步判断

该电厂燃机发电机组带负荷运行期间，发电机轴承出现振动突变现象。其中，驱动端振动由4.7 mm/s突升至6.0 mm/s，非驱动端振动由3.5 mm/s突升至5.1 mm/s。在振动突变后，发电机驱动端振动基本维持在5.3 mm/s左右，非驱动端振动基本维持在4.4 mm/s左右。

机组振动异常发生后，电厂邀请湖北电科院进行了振动测试和诊断，并委托我厂（上发厂）对机组振动异常进行原因分析和处理。

### 1.1 电科院振动测试和诊断

湖北电科院通过对机组进行振动测试，得出以下振动异常原因：

- (1) 频谱分析表明，振动以工频分量为主，说明机组发生普通强迫振动。
- (2) 发电机升温过程中，振动突变依然存在，说明该故障并未完全消除。
- (3) 在发电机未投励磁的情况下，发电机振动突变现象依然存在，说明该机组仍存在线圈膨胀受阻情况。
- (4) 通过与2020年12月运行数据进行比较，发现定速初期振动幅值和相位变化不大，且变化趋势基本相同，振动重复性较好，说明机组转子平衡状况并未发生明显变化，且该振动故障为可逆故障。

(5) 通过查询监测系统的历史数据，发现在振动波动期间，发电机运行参数未发生明显变化，说明振动波动由运行参数异常导致的可能性不大。大量工程实践表明，在运行参数未发生明显变化的情况下，振动波动主要由动静摩擦所

致。但对本机组而言，尚不能完全排除机组运行期间线圈发生轻微位移及电气故障导致振动波动的可能。

### 1.2 上发厂初步诊断

我厂根据电科院的诊断结论和该机组的结构特点，初步判断造成振动异常的主要原因有：

#### (1) 装配缺陷

励磁机热套到转子上，若励磁机热套紧力过小，当机组温度在50~70℃时，励磁机热套紧力发生突变，从而造成转子振动发生阶跃。

#### (2) 部件缺陷

四极的极靴板和极靴衬垫中的某一极发生变形，或者固定极靴螺钉紧力不足，均会造成发电机线圈在某一温度范围内发生松动。

#### (3) 电气故障

若机组发生匝间短路，机组的振动也会随着负荷而变化，振动的趋势并不能排除转子存在匝间短路（电气故障）的可能性<sup>[1]</sup>。

## 2 处理方案与试验验证

### 2.1 处理方案

根据上述原因分析，我厂建议电厂将发电机运至厂内进行解体检查，以彻底解决转子振动异常的问题。在转子解体过程中，逐一对前期分析的原因进行验证，并排查可能造成振动异常的其他缺陷。

#### 2.1.1 励磁机转子热套尺寸复核

通过对励磁机转子进行加热拆除，测量励磁机转子内径尺寸和发电机转子外径尺寸，结果见表2。

表2 热套面尺寸复核

位置	励磁机转子内径/mm	发电机转子外径/mm
水平	655.08	655.60
竖直	655.00	655.61
均值	655.04	655.60

从表2中可以看出，励磁机转子内径与发电机转子外径的过盈量为0.56 mm（双边）。励磁机转子质量为560 kg，转动惯量为85 kg·m<sup>2</sup>，离

心力引起过盈量减小0.18 mm(双边);运行时,励磁机处于冷风区,此处最大温差为30 K(实际运行期间不超过20 K),过盈量减小0.24 mm(双边)。此时,励磁机转子与发电机转子之间仍有0.14 mm的过盈量,励磁机热套尺寸符合要求。

### 2.1.2 解体过程中装配工艺的检查

对发电机转子4个极靴板进行编号,分别为P1、P2、P3和P4,如图4所示。

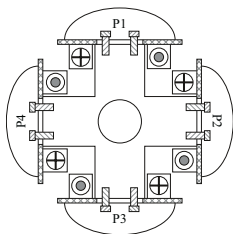


图4 极靴板跳动测量

在解体过程中发现以下缺陷:

#### (1) 极靴板变形严重

通过对4块极靴板进行校调,发现P4极的平面度较差,见图5和表1。

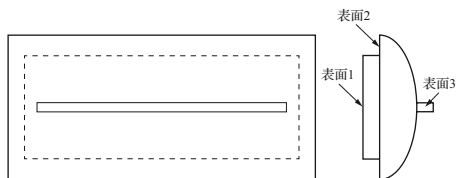


图5 极靴板校调位置

表3 极靴板校调结果

单位: mm

极数	平面度1	平面度2	平面度3	平面度2和3平行度
P1	0.30	0.29	0.29	0.07
P2	0.21	0.19	0.16	0.06
P3	0.19	0.19	0.14	0.07
P4	0.45	0.43	0.42	0.05

后续按照最小加工量(即满足平面度和跳动要求时的最小加工量)对四个极靴板进行加工,以确保极靴板平面度和跳动量。

#### (2) 极靴变形导致极靴螺钉拧紧力矩不足

初始拧紧力矩为6 500 N·m,为防止极靴板变形造成紧固不牢的问题,后续回装时拧紧力

矩增大至8 000 N·m,此力矩下螺栓强度仍满足要求。

#### (3) 线圈与磁轭之间存在间隙

线圈与磁轭绝缘垫块之间有较大间隙,最小0.1 mm,最大0.5 mm,见图6。后续回装过程中此间隙要求不大于0.05 mm。

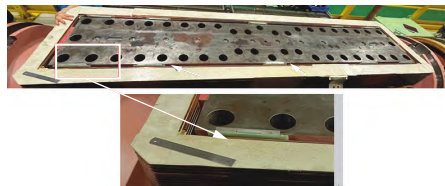


图6 线圈与磁轭绝缘垫块间隙

### 2.1.3 电气故障排查

取出线圈后,对线圈进行匝间短路试验,试验结果合格,排除了线圈电气故障的可能性。

### 2.2 型式试验验证

转子缺陷处理完成后,分别对转子和发电机进行了试验,以确保发电机振动异常问题得到解决。

#### 2.2.1 转子温升试验

对转子进行单独动平衡超速试验,在试验过程中进行转子温升试验(图7),并在转子温度达到70 ℃时,保温2 h,转子温升试验结果见表4。由表4可知,转子温升试验过程中并未发生明显的振动突变(突变的标准是振动值变化量大于100 μm)



图7 转子温升试验

#### 2.2.2 发电机型式试验

为进一步验证发电机转子缺陷得到彻底解决,对整台发电机进行型式试验,试验方案布置见图8。试验过程中,通过调节空冷器水流量,使发电机内部热风温度在40~90 ℃范围内波动,

