

浅析高压电动机振动值与电能质量之间的联系

冀 杰

(中国石油西气东输管道公司山西管理处,山西 太原 030001)

摘要:为探讨高压电动机在运行时出现的电机本体振动值偏高问题的原因,将电能质量技术应用到电动机振动分析中。通过理论简析和实测数据建立了电流不平衡性与电机振动值之间的关系,提出电动机进线电流不平衡是迫使其振动值偏大的重要原因。实测数据分析结果表明,外电源进线电压不平衡是引起电机振动值偏大的直接原因之一。

关键词:电动机;振动;进线电流;电压不平衡

中图分类号:TH113.1;TP311

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2011)03-0377-04

Analysis of the relationship between high voltage motor vibration and electric power quality

Ji Jie

(Shanxi Department of the WEPC, Taiyuan 030001, China)

Abstract: In order to locate the reason of abnormal motor vibration when the motor is running, the electric power quality analysis was investigated. After an academic explanation and analysis of actual testing data, the primary conclusion that abnormal motor vibration was caused by the unbalanced incoming current was established. Lastly through simple calculation and comparison, the experimental results show that the unbalanced electric source voltage is one of the direct factor leading the abnormal motor vibration.

Key words: motor; vibration; incoming current; voltage unbalance

0 引言

西气东输沁水气压气站 1#、2#、3#电驱往复机组自投产以来时常出现拖动电动机本体振动值偏高而迫使机组停机的异常现象。该异常现象一定程度上影响和阻碍了场站的正常工艺生产,因此积极探索造成场站电驱往复机组拖动电机频繁出现振动过大的异常现象原因是具有实际意义的,它能为下一步着手解决上述问题提供帮助,为场站的安全生产运行打下基础。由文献[1-5]可知发电机进线电流不平衡是致使发电机转子振动异常的重要因素。

本研究结合压气站上游变电站进线电源被电气化铁路牵引变电站污染的实际情况,探讨电动机振动异常与电能质量之间的联系。

1 电机振动的直观原因

电机的三相进线电流不平衡会导致电机转子主轴振动加剧,以下将通过理论简述和依据现场测试的实际数据绘制的趋势图来予以说明。

1.1 理论说明

沁水气压气站 6 kV 供电系统为中性点不接地的小电流电力系统,该系统的零序阻抗为无穷大,所以该电力系统各个环节及元件不存在零序电流分量。一旦出现电动机三相电流不平衡,即可说明导致三相电流不平衡的原因三相电流中存在着负序电流分量。文献[6-9]提出电动机定子电流的负序分量产生的旋转磁场与电机气隙合成磁场的方向相反而电气转速相同,该旋转磁场在转子绕组中感应出的电流分量为二倍

频,转子中二倍频电流与气隙合成磁场作用产生 100 Hz 的交变电磁转矩作用于转子轴系。由于电和磁的相互作用,转子中二倍频电流分量又会在定子绕组中感应出 3 倍频分量(2 倍频 + 转子机械运动产生的 1 倍频)。如此相互作用使得定子和转子绕组中产生了一定的高次谐波的电流分量(定子为奇次,转子为偶次),所以相应的合成电磁转矩不可避免地出现 $k \times 50 \text{ Hz}$ ($k = 2, 4, 6 \dots$) 交变电磁转矩,该转矩会使电机转子轴系产生振动。综上,电机中定子电流的负序分量是迫使电机振动的一个重要原因。

1.2 实测数据说明

1.2.1 1#往复机组电动机进线电流不平衡对电机振动的影响

在场站 6 kV 电动机进线开关柜二次回路上选取用于测量的三相电压和电流信号,再连接于 fluke 1760 电能质量测试仪的测试通道上,得出现场实测的 4 组 1#机组电动机实测电流数据及电机振动值如表 1 所示,将表中每组三相电流代入正、负序电流的计算公式,有:

$$\dot{I}_{(1)} = \frac{1}{3}(\dot{I}_a + a \times \dot{I}_b + a^2 \times \dot{I}_c) \quad (1)$$

$$\dot{I}_{(2)} = \frac{1}{3}(\dot{I}_a + a^2 \times \dot{I}_b + a \times \dot{I}_c) \quad (2)$$

式中: a —旋转因子, $a = \exp(120^\circ)$

不难得出每组电流所对应的正、负序电流 RMS 值如表 2 所示。再参照文献[1]所提供的电流不平衡度计算公式:

$$\varepsilon_i = \frac{I_{(2)}}{I_{(1)}} \times 100\% \quad (3)$$

可得出每组电流的不平衡度值如表 2 的最后一列所示。

表 1 1#往复机组的实测数据

I_A/A	I_B/A	I_C/A	电机振动值 $v/(mm \cdot s^{-1})$
$118.31 \angle -34.98^\circ$	$101.23 \angle -156.31^\circ$	$106.49 \angle -270.82^\circ$	1.104
$126.05 \angle -28.76^\circ$	$114.36 \angle -159.34^\circ$	$100.51 \angle -271.75^\circ$	2.530
$126.28 \angle -30.28^\circ$	$111.63 \angle -161.91^\circ$	$95.73 \angle -272.04^\circ$	2.781
$126.20 \angle -27.22^\circ$	$115.49 \angle -161.81^\circ$	$92.828 \angle -271.94^\circ$	3.278

表 2 1#往复机组的电机进线电流序分量的计算值及电流不平衡度

正序分量有效值 $I_{(1)}/A$	负序分量有效值 $I_{(2)}/A$	电流不平衡度 $\varepsilon_i/(%)$
108.59	8.12	7.48
113.28	13.60	12.00
110.76	15.85	14.31
110.84	18.40	16.60

以上述两表中所列的 4 组电流不平衡度值及电机振动值为基准,运用三次样条插值法作出电机振动值与电流不平衡度有效值的关系图如图 1 所示。

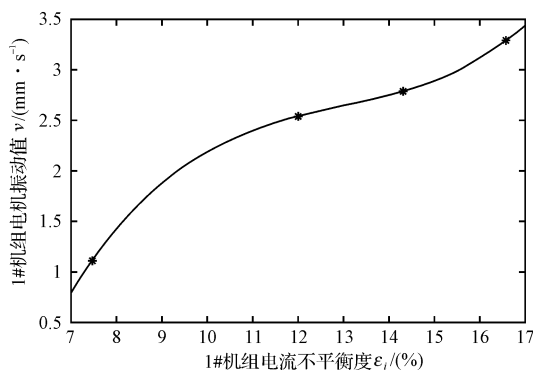


图 1 1#机组电流不平衡度及电机振动值的关系曲线

1.2.2 2#往复机组电动机进线电流不平衡对电机振动的影响

现场实测的 4 组 2#机组电动机实测电流数据及电机振动值如表 3 所示,运用与 1#机组数据相同的处理方法,得出 2#机组进线电流的序分量有效值与电流不平衡度如表 4 所示,绘制出 2#机组进线电流不平衡度与电机振动值的关系曲线如图 2 所示。

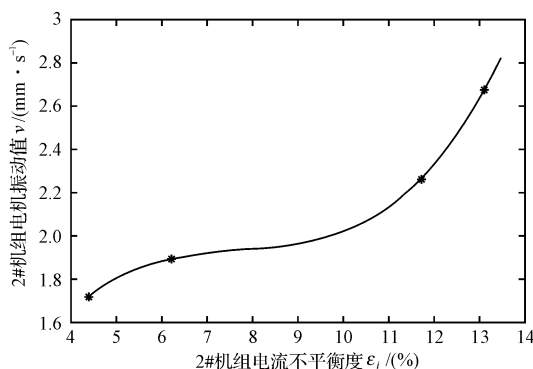


图 2 2#机组电流不平衡度及电机振动值的关系曲线

表 3 2#往复机组的实测数据

I_A/A	I_B/A	I_C/A	电机振动值 $v/(mm \cdot s^{-1})$
$117.17 \angle -38.16^\circ$	$109.28 \angle -155.47^\circ$	$113.28 \angle -273.16^\circ$	1.716
$123.32 \angle -31.96^\circ$	$113.51 \angle -157.10^\circ$	$108.65 \angle -273.51^\circ$	1.892
$122.61 \angle -32.26^\circ$	$110.43 \angle -162.12^\circ$	$98.052 \angle -247.08^\circ$	2.263
$126.01 \angle -29.77^\circ$	$115.81 \angle -161.54^\circ$	$98.53 \angle -74.31^\circ$	2.675

表 4 2#往复机组的电机进线电流序分量的计算值及电流不平衡度

正序分量有效值 $I_{(1)}/A$	负序分量有效值 $I_{(2)}/A$	电流不平衡度 $\varepsilon_i/(%)$
111.17	6.92	4.37
115.08	7.15	6.21
106.99	12.89	11.72
113.02	14.84	13.13

结合图1、图2不难看出1#机组与2#机组电机振动值与机组进线电流不平衡度成正比关系,电机振动值随电流不平衡度的增大而增大;减小而减小。可以得知机组的三相进线电流不平衡性是导致电机异常振动的重要原因,过大的电流不平衡度会使得电机输出电磁转矩存在过大的交变电磁转矩,输出转矩的脉动使电机转子轴系发热及振动。

2 机组电动机振动值过高的直接原因

由文献[10]可知沁水站35 kV外电源质量较差,存在电压有效值波动、不平衡及谐波超标等异常现象。下面将通过现场测得的实际数据进行分析来解释不平衡的外电源电压造成往复式机组进线电流不平衡,进而使得机组电机振动过大。

2.1 1#往复式机组电动机进线电压不平衡对电机振动的影响

现场实测的4组1#机组电动机实测电压数据及电机振动值如表5所示,运用与1#机组电流数据相同的处理方法(将公式(1)~(3)中的电流变量换为相应的电压变量即可),得出2#机组进线电压的序分量有效值与电压不平衡度如表6所示,绘制出1#机组进线电压不平衡度与电流不平衡度的关系曲线如图3所示;1#机组进线电压不平衡度与机组振动值的曲线如图4所示。

表5 1#往复式机组的实测数据

U_A/V	U_B/V	U_C/V	电机振动值 $v/(mm \cdot s^{-1})$
3 697.3 $\angle 0^\circ$	3 679.2 $\angle -120.32^\circ$	3 662.3 $\angle -240.07^\circ$	1.104
3 651.9 $\angle 0^\circ$	3 686.7 $\angle -120.71^\circ$	3 622.0 $\angle -240.98^\circ$	2.530
3 674.9 $\angle 0^\circ$	3 709.2 $\angle -120.93^\circ$	3 632.9 $\angle -241.09^\circ$	2.781
3 627.6 $\angle 0^\circ$	3 681.4 $\angle -120.98^\circ$	3 591.5 $\angle -241.40^\circ$	3.278

表6 1#往复式机组的电机进线电压序分量的计算值及电压不平衡度

正序分量有效值 $U_{(1)}/V$	负序分量有效值 $U_{(2)}/V$	电压不平衡度 $\varepsilon_u/(%)$
3 679.6	16.24	0.44
3 653.4	37.08	1.01
3 672.2	43.64	1.19
3 633.3	52.16	1.44

2.2 2#往复式机组电动机进线电压不平衡对电机振动的影响

现场实测的4组2#机组电动机实测电压数据及电机振动值如表7所示,运用与1#机组电压数据相同的处理方法,得出2#机组进线电压的序分量有效值与电压不平衡度如表8所示,绘制出2#机组进线电压不平衡度与

电流不平衡度的关系曲线如图5所示;2#机组进线电压不平衡度与机组振动值的曲线如图6所示。

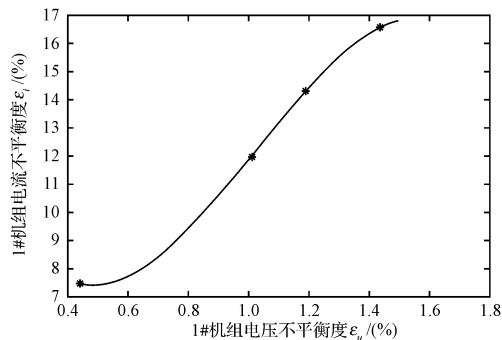


图3 1#机组电压不平衡度及电流不平衡度的关系曲线

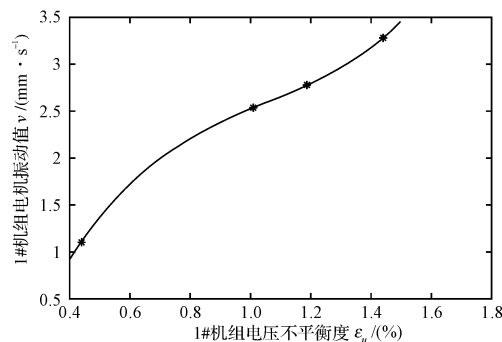


图4 1#机组电压不平衡度及电机振动值的关系曲线

表7 2#往复式机组的实测数据

U_A/V	U_B/V	U_C/V	电机振动值 $v/(mm \cdot s^{-1})$
3 691.8 $\angle 0^\circ$	3 661.2 $\angle 120.04^\circ$	3 666.3 $\angle 239.77^\circ$	1.716
3 628.3 $\angle 0^\circ$	3 644.0 $\angle 120.38^\circ$	3 607.1 $\angle 240.56^\circ$	1.892
3 654.7 $\angle 0^\circ$	3 684.9 $\angle 10.84^\circ$	3 614.6 $\angle 241.00^\circ$	2.263
3 616.8 $\angle 0^\circ$	3 587.1 $\angle 141.26^\circ$	3 587.1 $\angle 241.26^\circ$	2.675

表8 2#往复式机组的电机进线电压序分量的计算值及电压不平衡度

正序分量有效值 $U_{(1)}/V$	负序分量有效值 $U_{(2)}/V$	电压不平衡度 $\varepsilon_u/(%)$
3 673.1	14.76	0.40
3 626.4	20.7	0.57
3 651.3	39.86	1.09
3 623.8	46.94	1.30

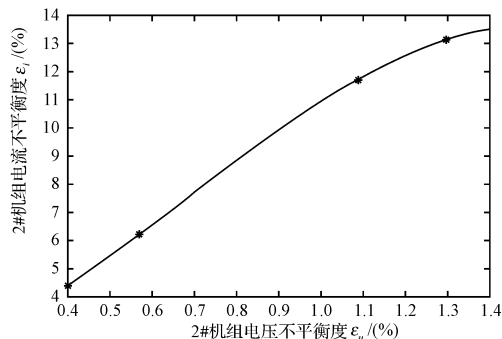


图5 2#机组电压不平衡度及电流不平衡度的关系曲线

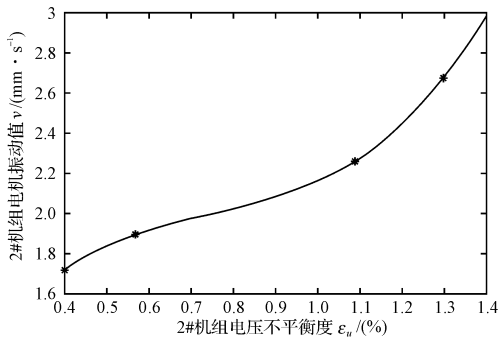


图 6 2#机组电压不平衡度及电机振动值的关系曲线

2.3 主电机振动现象与外电电压不平衡度的关系

由图 3 ~ 图 6 可以看出,电机进线电压不平衡度与电流不平衡度成正比;与机组电机振动值成正比;进线电压不平衡导致机组电机进线电流不平衡,进而使得电机振动过高。

为了证明机组电机进线电压不平衡不是由场站负荷所引起的,现将沁水站变电所空载时 6 kV 母线电压的现场实测数据列出(如图 7 所示),可以看出即使负荷电流 I_{rms} 为 0(图中的值为测量仪器的零漂值),6 kV 电压相与相之间仍有较大偏差,故 6 kV 母线电压不平衡与负荷无关。

	Urms [V]	Irms [A]	P [W]	Q [Var]	CosPhi [1]
L1	3694,5	3,8032	-1236,1	-544,37	-0,91518
L2	3724,1	2,8194	-230,15	-589,52	-0,36368
L3	3670,3	2,4874	1150,0	783,28	0,82649
N	0	0	0	0	0
L1L2L3			-316,28	-350,61	
U L12	6442,5				
U L23	6412,0				
U L31	6351,8				

图 7 6 kV 母线实测电压值

沁水站变电站场站正常运行所需容量约为 4 MVA,该值远小于场站主变(35/6.3 kV)的额定容量(10 MVA)。此时主变铁芯远未饱和,主磁通回路工作于主变铁芯 $F-\Phi$ 铁性曲线的线性段,故可将主变看作为线性电力元件,那么可以推知电机进线电压(沁水站 6 kV 母线电源)不平衡的原因是 35 kV 外电源电压不平衡所引起的,35 kV 外电源进线电压不平衡会使得场站 6 kV 母线电压存在着不平衡性,进而使得往复复式机组进线电压存在着不平衡性,迫使机组电机进

线电流存在不平衡性,出现负序电流分量,最终造成电机振动值过高。

3 结束语

沁水站外电电压不平衡是导致往复复式机组电机振动值过高的主要原因,再结合文献[10]所提到的沁水站外电谐波超标也是电机振动值过高的主要原因,可知沁水站 35 kV 外电源电能质量欠佳是导致往复复式机组电机本体过分振动的主要原因。改善外电源电能质量,即对场站进线电压进行无功动态补偿并减小进线电压的总谐波畸变率是确保往复复式机组电机正常运行及排除其安全生产隐患的有效对策。

参考文献(References):

- [1] 许实章,马志云,何全曾. 水轮发电机由负序电流引起的振动[J]. 华中科技大学学报:自然科学版,1979,11(4): 15-16.
- [2] WAN Shu-ting. Generator vibration fault diagnosis method based on rotor vibration and stator winding parallel branches circulating current characteristics[J]. **Chinese Journal of Mechanical Engineering**,2005,18(4):592-596.
- [3] 唐卫新,施青,张俊彪. 135MW 发电机振动故障的分析与处理[J]. 新疆电力技术,2010,104(1):47-48.
- [4] 张道瑞. 电气原因引起的汽轮发电机振动分析及治理[J]. 焦作大学学报,2005,25(1):82-83.
- [5] XIONG Wan-li, DUAN Zhi-shan. Characteristics of electro-mechanical coupling self-synchronization of a multi-motor vibration transmission system[J]. **Chinese Journal of Mechanical Engineering**,2001,14(3):275-278.
- [6] SENSKE K. Vibration form of stator winding when electric fault occurs in turbogenerator[J]. **Foreign Large Generator**,1998(2):25-33.
- [7] 张文刚,王泽威,徐元周. 防爆电机振动的现场处理[J]. 电气防爆,2009(2):40-41.
- [8] 张道瑞. 电气原因引起的汽轮发电机振动分析及治理[J]. 焦作大学学报,2005,25(1):82-83.
- [9] 谢笑林,徐丽红,王培吉. YZR 电机振动值超限的原因及分析[J]. 焦作大学学报,2010,30(6):59-61.
- [10] 杨日永,冀杰. 某压气站 6 kV 高压电机故障及电源影响的技术浅析[J]. 中国科技纵横,2010,98(8):109.

[编辑:李辉]