

电气扰动引起的弯曲振动

寇胜利

(国电热工研究院 西安, 710032)

摘 要 分析了电气扰动引起机组弯曲振动的原因。认为电气扰动可以影响联轴器的同心度和转子的弯曲。本文还分析了这种振动的特点和处理措施。

关键词: 电气扰动; 对中; 弯曲

中图分类号: TM61

所谓电气扰动是指由于发电机或电网方面的电气故障产生的冲击性的瞬态电磁转矩。存在电气扰动时, 瞬态电磁转矩作用于发电机, 引起轴系的扭转振动。

本文分析了电气扰动引起机组振动增大的原因。认为电气扰动可以引起两种后果: (1) 冲击性转矩使联轴器螺栓变形, 破坏了联轴器的同心度; (2) 扭转振动与弯曲振动耦合, 使转子发生弯曲。

1 电气扰动引起的扭转振动

1.1 电气扰动

电气扰动大体有以下几种类型:

(1) 非同期并网

包括空载并网和事故时的强行并网。非同期并网不仅在电力系统产生有害的冲击电流, 而且会在发电机气隙中产生巨大的冲击转矩, 其大小可以超过额定转矩的6倍;

(2) 各种短路故障

无论短路的形式(单相、两相、三相), 也无论短路点在哪里(发电机、变压器、电网), 都将引起电流和转矩的冲击和振荡, 最终引起轴系的扭振。在这种条件下, 由此产生的电磁转矩可以达到额定转矩的6倍;

(3) 快速重合闸

重合闸是在发电机近端发生电弧性短路故障时, 切开短路让电弧自行熄灭, 然后再重新合闸。这是一种保持连续供电的措施。然而不成功的重合闸将使发电机的电压和电流经历大幅度的阶跃波动和剧烈的振荡, 从而激发扭振;

(4) 同步发电机失步

同步发电机可能由于负荷突变、失磁、短路等原因造成失步, 进入异步运行状态。这时发电机会产生巨大的交变电磁转矩;

(5) 甩负荷

甩负荷属于阶跃函数激励, 它将引起轴系各种固有频率的自由振荡;

(6) 次同步谐振

次同步谐振是指由输电线路上的串联补偿电容引起的扭振, 振动频率低于50 Hz;

(7) 负序电流

当发电机三相负荷不对称时将产生负序电流, 负序电流产生100 Hz的交变电磁转矩, 引起轴系扭振。

对于汽轮发电机组而言, 电气扰动是造成轴系扭振的主要原因。但是机械方面的因素也可以造成轴系的扭振。例如汽轮机的调节系统、汽门的快速控制(简称“快关”)等都可能对轴系扭振有影响。

1.2 扭转振动

电气扰动引起轴系的扭转振动, 在转子断面产生交变转矩和剪应力。图1是两相短路时一台发电机转子转矩随时间的变化。大约在0.045 s转矩达到最大值, 为额定转矩的2.8倍。

图2是在发电机两相短路时, 国产200 MW机组轴系的转矩和应力峰值沿轴线的分布。从图中看出:

(1) 两相短路时的转矩和应力转矩 M 可以达到额定转矩(M_0)的近3倍, 而且这种转矩和应力是交

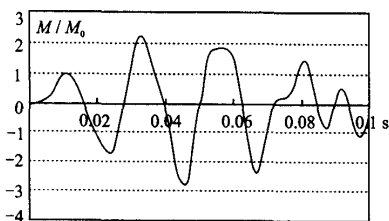


图1 交变转矩

变的;

(2)最大转矩出现在汽轮机-发电机联轴器附近,该处螺栓的剪应力较高;

(3)发电机后端的转矩尽管不大,但由于发电机-励磁机联轴器螺栓直径较小,而且螺栓节圆半径较小,所以螺栓应力最高。以前有几台国产200 MW机组在电气扰动之后,发生过该处螺栓断裂,也证实了它的确是一个薄弱环节。

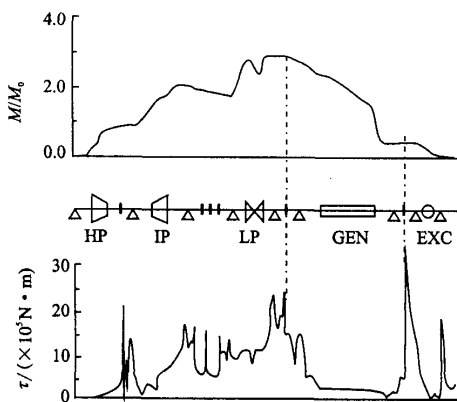


图2 国产200 MW机组两相短路时的转矩和应力

2 电气扰动对弯曲振动的影响

2.1 影响振动的机理

电气扰动引起扭转振动,对弯曲振动的影响有以下两个原因:

(1)破坏联轴器的同心度

汽轮发电机组是多转子组成的轴系,轴系是按联轴器找中心的。通过调整联轴器两侧轴承的标高使联轴器的同心度在合格范围内。所谓“同心度”是指联轴器的端面偏差和圆周偏差。

轴器本身就是轴系中较为薄弱的环节,而电气扰动激发的扭转振动,使联轴器螺栓承受巨大的剪切应力。这种应力可以达到额定应力的许多倍,而且

是交变的。它可以引起螺栓的变形以至断裂。例如1970~1971年美国某电厂一台300 MW机组的发电机-励磁机联轴器螺栓先后两次断裂;1973年德国一台600 MW机组的联轴器变形,螺栓出现裂纹。调查结果表明,上述事故就是由扭转振动引起的。中国多台200 MW也发生过联轴器螺栓因扭振断裂的事故。

如果螺栓变形,就可能使联轴器的同心度变化,也就是说破坏了轴系已有的对中。这样将产生附加的不平衡,引起转子的振动。

(2)转子弯曲

振动体存在着耦合效应,所谓耦合就是振动体同时完成两种不同类型的振动。例如电气不仅使轴系产生扭转振动,同时还能够产生弯曲振动,这就是弯扭耦合。这种现象也为现场观察所证实。例如一台机组甩负荷的瞬间,弯曲振动也有突变。

从转子受力的角度看,不仅产生巨大的扭矩,还会产生弯矩。其后果是使转子的薄弱环节出现永久弯曲。

无论是联轴器同心度还是转子弯曲的变化,都将导致轴系的平衡状态变化,引起弯曲振动。

同心度和弯曲的变化都可以由晃度反映出来。涡流传感器在低速时(200~400 r/min)测量到的位移值即为晃度。由后面的例子将会看出,在电气扰动之后晃度发生变化。

2.2 振动特点

基于对振动机理的分析,电气扰动引起的振动将具有以下特点:

(1)振动是基频

如上所述,联轴器同心度和转子弯曲的变化,都将使转子的平衡状态变化,由此引起基频振动。由于基频振动包括振幅和相位两个要素,这种变化往往会在这两个要素的变化反映出来。当然有时振幅反映明显,有时相位反映明显;

(2)振动的突变和不可逆

电气扰动是冲击的瞬态转矩,由于阻尼的存在,引起的扭转振动一般在数秒内就会消失。对机组振动的影响也表现为突变,

由于电气扰动引起的联轴器螺栓变形和转子弯曲属于塑性变形,不可能恢复。因而振动在瞬间上升一个台阶。

3 案例分析

下面结合具体的例子进一步观察电气扰动对振

动的影响及其特点。

例1 元宝山3号机组(国产600 MW)

该机在2002年先后发生两次电气故障,导致甩负荷停机。下面分析对轴系振动的影响。

(1) 副励磁机事故

7月4日凌晨机组在满功率附近运行时,因副励磁机定子湿度超标甩负荷跳机,抢修后于2002年7月9日开机,并连续运行到2002年7月13日。

图3是副励磁机事故前后的振动趋势。可以看出,事故前发电机9~10[#]轴承的轴振在90 μm左右,事故后上升到150 μm左右。从振动的频率看,振动的变化主要反映在基频(1X)成分(见表1中序1~序2)。

由于事故后振动已超过报警值(125 μm),重新调整了发电机的平衡,使其达到合格值(见表1中序3)。

(2) 发电机差动保护动作

8月13日因大风使输电线路的一座电杆倒塌,线路接地,发电机差动保护动作甩负荷。2002年8月15日重新开机。图4是事故前后9~10[#]轴承基频振

动的振幅和相位的趋势。表1中的序3和序4是事故前后的实测值。

从图4和表1可以看出,事故前后振幅有一定的变化,但是变化最明显的是10[#]轴振的相位,变化达到140°。差动保护动作前后10[#]轴振的变化量(变化前后振动的矢量差)达到116 μm。

发电机差动保护跳机后,因振动的变化主要表现在相位的变化上,振幅的变化并不明显。因此没有对平衡进行调整。

表1 甩负荷前后的振动(基频 μm/相位)

序	摘 要	发电机轴承	
		9	10
1	付励磁机故障前	95∠62	90∠245
2	付励磁机故障后	155∠52	145∠245
3	发电机平衡后	115∠55	55∠255
4	发电机差动保护动作后	95∠52	68∠115
5	差动保护动作前后振动变化量	26∠246	116∠97

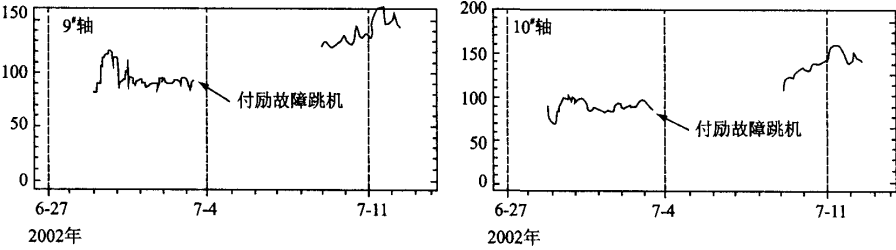


图3 甩负荷前后的振动

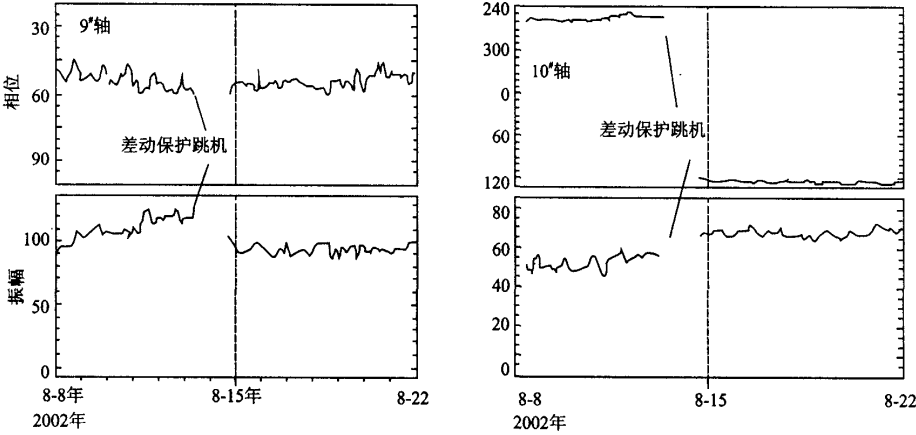


图4 差动保护动作

在这两次电气故障之后9~11[#]轴颈的晃度发生了明显的变化(表2)。特别在差动保护动作后10[#]轴径的晃度的相位变化了87°,相应的变化量为53 μm。

表2 轴颈晃度的变化

序	日期	摘要	低压		发电机		励磁机
			8	9	10	11	
1	020526	付励故障甩负荷前	19∠270	14∠44	33∠308	5∠174	
2	020719	付励故障甩负荷后	25∠287	30∠90	45∠315	5∠200	
3	020814	差动保护动作后	未测	30∠90	31∠42	28∠270	
序1→序2			9∠326	23∠116	13∠333	2∠277	
晃度变化量							
序2→序3				0	53∠99	27∠280	

例2 上安1号机组(GE350 MW)

2003年3月2日6:50左右,1号机组在320 MW运行时。电网B相因接地故障而短路。地故障点距厂60.6 km。短路持续约60 ms。估计此间瞬态负荷320 MW×3=960 MW,冲击电流约为正常电流的3倍。

图1是事故前后低压转子3~4[#]轴振。短路后轴振上升约20 μm。此后曾多次升、降负荷,但振动基本无变化。

表3中的序1~序2是短路前后基频振动的幅值和相位。振动变化量最大的位置在低压转子—发电机联轴器两侧的4~5[#]轴承,而且这两个轴承振动变量的相位接近。说明联轴器出现一定的不平衡。

表4是短路前后轴系晃度的变化,变化最大的部位在低压转子和发电机,其中以4[#]轴颈晃度变化最大。

对这次故障原因的分析:电网短路使低压转子—发电机联轴器螺栓变形,使联轴器晃度变化,产生不平衡。

后来电厂利用检修的机会复查了汽轮机—发电机联轴器中心,确实发生明显变化。检修后进行了一次平衡,使振动得到改善。

表3 轴振(基频 μm /度)

序	摘要	负荷 MW	低压转子		发电机	
			3	4	5	6
1	短路前	305	75∠116	24∠81	63∠140	42∠154
2	短路后	293	96∠106	32∠243	48∠195	57∠184
(振动变量)			26∠76	55∠251	53∠272	29∠230

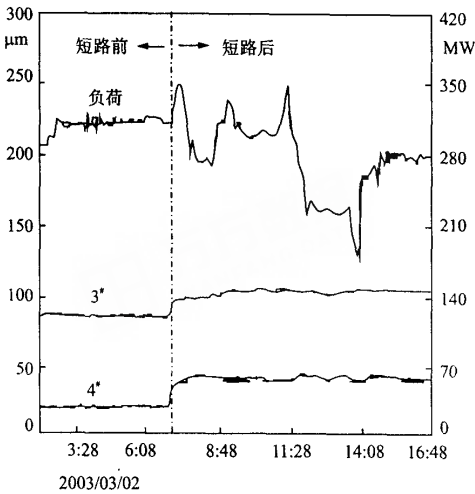


图5 短路前后的振动趋势

表4 晃度

序	摘要	高中压转子		低压转子		发电机	
		1	2	3	4	5	6
1	短路前	8∠106	11∠297	6∠144	10∠148	3∠0	6∠237
2	短路后	8∠84	13∠278	3∠30	31∠130	5∠249	14∠158
晃度变化量		3∠5	4∠224	8∠345	22∠122	7∠224	14∠133

例3 大亚湾1号机组(GEC980 MW)

2004年3月11日21:30之后,运行人员发现机组的振动有明显的上升。经了解:21:30香港青山B厂400 kV线路开关跳闸,导致系统周波波动,瞬间由49.98 Hz降低到48.78 Hz。由于大亚湾1号机组接在香港电网,这种波动对其有影响。在线路开关跳闸的瞬间,1号机组的主控记录到发电机的有功、无功和励磁电流出现较大的阶跃尖峰。而且多道轴承的轴振出现阶梯变化。这种变化是不可逆的,电网故障后振动无法恢复到原先的水平(见图1)。

从表5看出,振动变化最大的位置在发电机的9~10[#]轴承和励磁机的前轴承(11[#]轴承)。

由于这次电气故障的地点距离大亚湾电厂较远(100 km左右),对振动的影响相对较小。但由于11[#]轴振原来就比较高,事故后进一步增大,接近报警值(135 μm)。

表5 电网扰动前后轴振的变化

轴承号	1	2	3	5	6	9	10	11	12
扰动前	73	48	39	84	52	38	57	123	24
扰动后	77	50	38	86	54	43	64	132	26

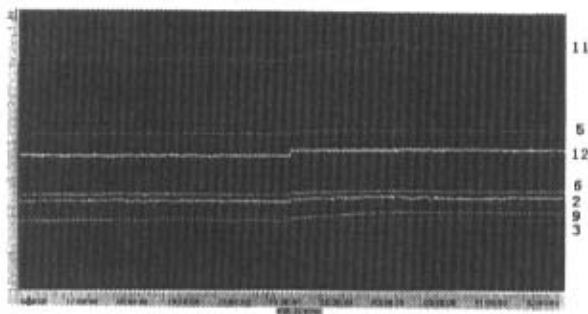


图 6 电网扰动前后的轴振趋势

4 总 结

(1) 电气扰动可以造成联轴器同心度和转子弯

曲的变化,由此引起轴系的弯曲振动,振动的频率为基频;

(2) 在电气扰动的瞬间,振动呈阶梯形变化,这种变化是不可逆的;

(3) 通过平衡可以消除这种振动。

参 考 文 献

- 1 杜极生. 轴系扭转振动的试验、监测和仪器. 南京: 东南大学出版社, 1994
- 2 [德]E. 维德曼W. 克伦贝格尔. 电机结构. 刘彦清等译. 北京: 机械工业出版社, 1976.
- 3 寇胜利. 国产 20 万 KW 汽轮发电机组扭振特性分析. 中国电力, 1991; 6: 23—29

Bend Vibration Caused by Electric Disturb

Kou Shengli

(Thermal Power Research Institute State Power of China Xi'an, 710032)

Abstract This paper analysis the vibration caused by electronic disturb. The electronic disturb influences in coupling axial alignment and bent. The vibration and treatment are discussed as well.

Key words: electric-disturb; alignment; bent

作者 寇胜利 男。E-mail: konshengli@tpra.com.cn

电气扰动引起的弯曲振动

作者: [寇胜利](#), [Kou Shengli](#)
作者单位: [国电热工研究院, 西安, 710032](#)
刊名: [振动工程学报](#) [ISTIC](#) [EI](#) [SCI](#) [PKU](#)
英文刊名: [JOURNAL OF VIBRATION ENGINEERING](#)
年, 卷(期): 2004, 17 (z1)
引用次数: 1次

参考文献(3条)

1. [杜极生](#) [轴系扭转振动的试验、监测和仪器](#) 1994
2. [E 维德曼](#), [W 克伦贝格尔](#), [刘彦清](#) [电机结构](#) 1976
3. [寇胜利](#) [国产20万KW汽轮发电机组扭振特性分析](#) 1991

相似文献(1条)

1. 会议论文 [寇胜利](#) [电气扰动引起的弯曲振动](#) 2004
分析了电气扰动引起机组弯曲振动的原因. 认为电气扰动可以影响联轴器的同心度和转子弯曲. 本文还分析了这种振动的特点和处理措施.

引证文献(1条)

1. [张瑞菊](#) [冷连轧机振动故障诊断](#)[期刊论文]-[重型机械](#) 2008(5)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_zdgcxb2004z1070.aspx

下载时间: 2010年1月24日