

1030MW 超超临界机组 TSI 配置之特点

戴 庆, 刘 治

(华能南京金陵发电有限公司, 江苏 南京 210034)

摘 要: 通过比较华能南京电厂 320MW 超临界机组和华能金陵电厂 1030MW 超超临界机组 TSI 系统的测点、卡件、参数、保护设置之差异, 说明现代大机组 TSI 配置的特点。

关键词: 320MW 和 1030MW 机组; TSI 系统; 配置差异比较; 现代大机组 TSI 配置特点

0 引言

汽轮机安全监视系统 (TSI) 是一种集保护和检测功能于一体的监视系统, 是大型旋转机械必不可少的保护系统。

TSI 可以对机组在起动、运行过程中的一些重要参数能可靠地进行监视和储存, 它不仅能指示机组运行状态、记录输出信号、实现数值越限报警、出现危险信号时使机组自动停机, 同时还能为 TDM 故障诊断系统提供数据。

TSI 一般有以下一些参数:

(1) 轴向位移监视: 连续监视推力盘到推力轴承的相对位置, 以保证转子与静止部件间不发生摩擦, 避免灾难性事故的发生。当轴向位移过大时, 发出报警或停机信号。

(2) 差胀监视: 连续检测转子相对于汽缸上某基准点 (通常为推力轴承) 的膨胀量, 一般采用电涡流探头进行测量, 也可用线性差动位移变送器 (LVDT) 进行测量。

(3) 缸胀监视: 连续监测汽缸相对于基础上某一基准点 (通常为滑销系统的绝对死点) 的膨胀量。由于膨胀范围大, 目前一般都采用 LVDT 进行缸胀监视。

(4) 转速监视: 连续监测转子的转速。当转速高于设定值时给出报警信号或停机信号。

(5) 振动监视: 监视主轴相对于轴承座的相对振动和轴承座的绝对振动。

(6) 偏心度监视: 连续监视偏心度的峰-峰值和瞬时值。转速低于 600r/min 时, 主轴每转一圈测量一次偏心度峰-峰值, 此值与键相脉冲同步。

(7) 相位监视: 采用相位计连续测量选定的输

入振动信号的相位。输入信号取自键相信号和相对振动信号, 经转换后供显示或记录和分析。

广义的 TSI 还包括阀位指示 (连续指示调速汽门的动作位置)、支持瓦温度、推力瓦温度、润滑油温度、凝器水位和凝器真空度、润滑油品质 (颗粒度、含水量等) 等等。

一般来说, 汽机应监视和保护的项目随蒸汽参数的升高而增多 (且随机组不一而各有差异), 但是现在随着材料科学和汽机技术的进步, 出现了百万机组汽机比三十万机组汽机 TSI 更精简的现象。下面笔者就以华能南京电厂 320MW 汽机和华能金陵电厂 1030MW 汽机为例, 将其 TSI 配置做一对比, 归纳现代大机组 TSI 配置的特点。

1 华能南京电厂 320MW 汽机和华能金陵电厂 1030MW 汽机简介

华能南京电厂 2×320MW 超临界机组汽轮机是哈尔科夫汽轮机制造厂, 1985 年产的第一台 K-320-23.5-4 型汽轮机 (即华能南京电厂 1 号机), 是在该厂生产的 2 型机基础上进行改进型号。该机额定功率 320MW, 主蒸汽压力 23.5 MP_a, 主蒸汽温度 540℃, 再热蒸汽压力 3.69MP_a, 再热蒸汽温度 540℃, 冷凝器额定压力 4.8kP_a, 中间再热蒸汽压损 9.5%。该型汽轮机配置列宁格勒电机厂 TBB-320-2EY 3 型发电机。轴承配置如图 1。

机组的 TSI 测点位置为: 高压转子挠度和胀差安装在高压转子的前箱; 轴向位移安装在 #2 轴承, 甲侧一点, 乙侧两点; 中压转子挠度和胀差安装在 #3 轴承, 低压转子胀差安装在 #5 轴承。高压缸和中压缸安装了缸体膨胀表, #1~6 轴承装有垂直和水平方向的轴相对振动, #1~9 瓦装有垂直、水平和轴

向的瓦振拾振器。

华能金陵电厂二期工程 2×1030MW 机组，汽轮机由上海汽轮机厂生产，型号 N1000-26.25/600/600(TC4F)，额定主汽压力 26.25MPa，主汽温度 600℃，再热器压力 5.35 MPa，

再热器温度 600℃。发电机是上海电机厂的 THDF 125-67 型发电机。

汽机 TSI 系统测点见图 2。

320MW 和 1030MW 这两型汽机 TSI 测点数量对照如表 1 所示。

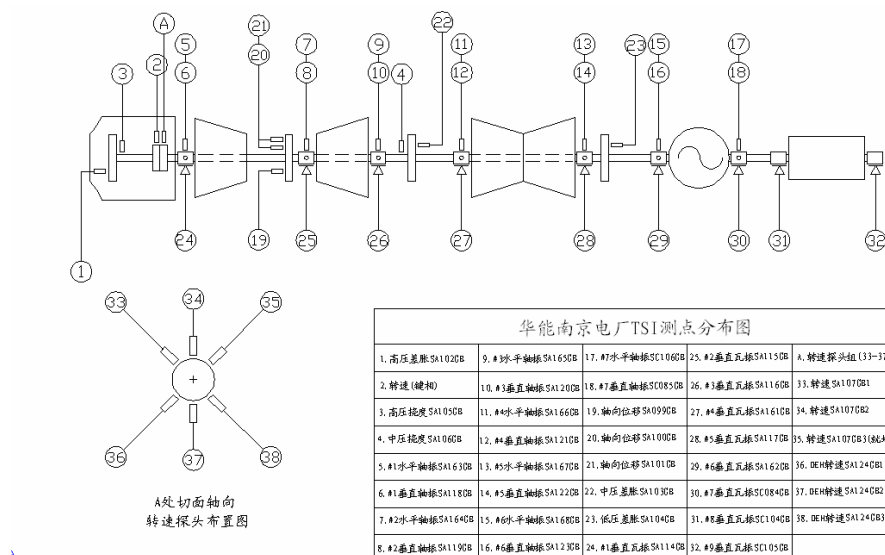


图 1 华能南京 320MW 机组 TSI 测点布置图

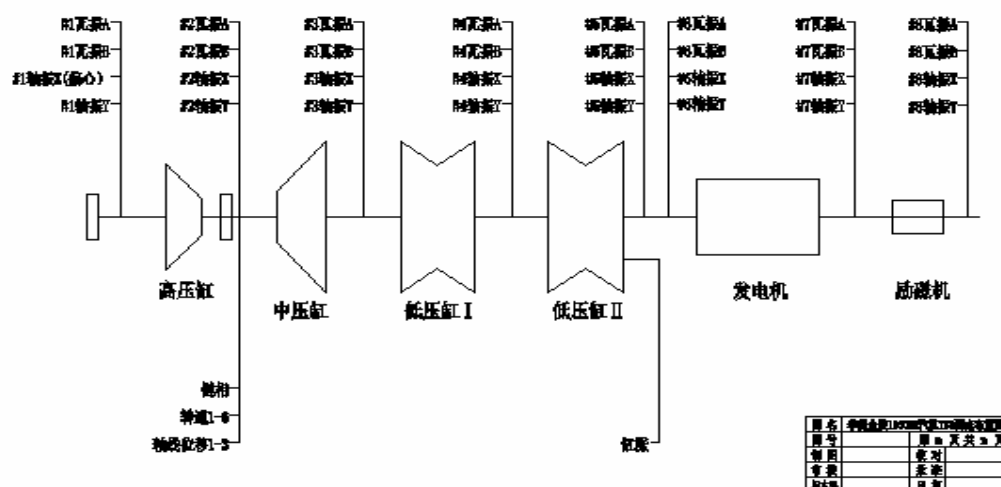


图 2 华能金陵电厂 1030MW 机组 TSI 测点布置图

表 1 320MW 和 1030MW 汽机 TSI 测点数量对照

参数	轴向位移	差胀	转速	轴振	瓦振	偏心	缸胀	相位
320MW 机组	3 只	高、中、低	6 只	1-9 瓦	垂直、水平、轴向	有	高、中	有
1030MW 机组	3 只	无	6 只	1-8 瓦	单向 45°角	有	总缸胀	有

可以看出百万机组的汽机 TSI 相比较反而更加精简，没有差胀，缸胀只有一只，瓦振只有 45°角一个方向。

每一台汽机 TSI 的配置总是服从汽机本体的结构，并为保护汽机安全而存在。从 320MW 机组和 1030MW 机组的结构比较能说明 TSI 差异所在。

2 320MW 和 1030MW 机型 TSI 测点配置的比较

2.1 轴向位移监视差异

轴向位移的检测都在推力瓦附近，均取用三去二模式。320MW 机组的轴向位移探头安装在轴承座内部（见图 3），1030MW 机组轴向位移探头安装

在缸体外部（见图 4）。比较而言，前者干净，环境温度低，使用寿命长，但是维护直观，检修不方便；后者由于靠近高压缸轴封，所以环境温度高，转子旋转带的灰尘大，容易结垢，拆装时容易损坏支架的丝牙，但是安装、日常维护方便直观。

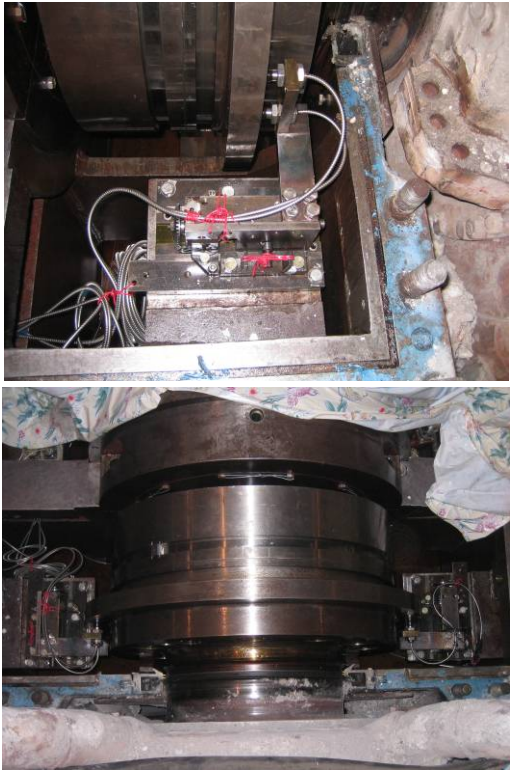


图 3 华能南京电厂 320MW 机组轴向位移安装图（一侧和全貌）

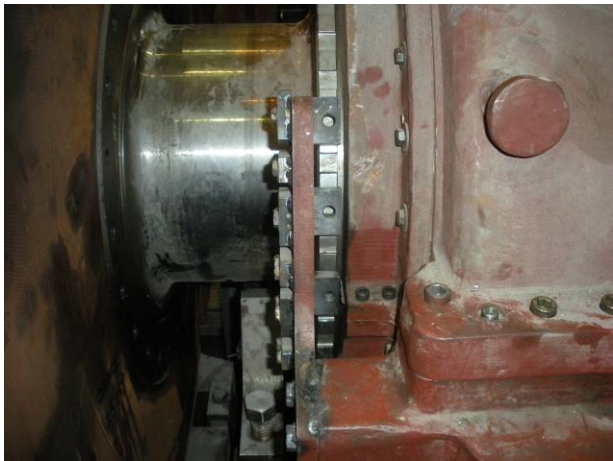


图 4 华能金陵电厂 1030MW 机组转速齿轮盘和轴向位移、键相探头安装支架

2.2 缸胀和差胀监视之差异

2.2.1 缸胀测点的配置差异

320MW 汽机缸的死点在低压缸中部，监视缸的膨胀主要监视从死点向机头方向，所以分别测量中压缸和高压缸的膨胀。由于缸体相连，高压缸膨胀事实上是缸胀在此方向的总和。百万机组汽机缸的死点在高中缸之间，最大的膨胀的方向是从死点向低压缸，并且中压外缸和低压内缸之间用推力螺栓刚性联接，所以只在低压缸的末端配置了一个 LVDT 缸胀测点，足以测量出最大的膨胀值。1030MW 汽轮机组滑销系统示意如图 5。

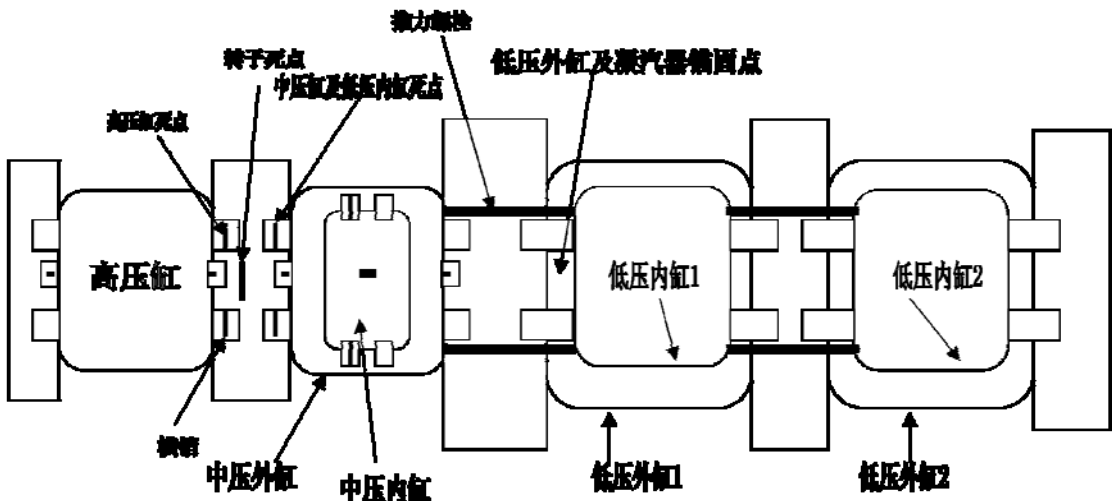


图 5 1030MW 汽轮机组滑销系统示意图

2.2.2 差胀测点配置的差异

320MW 机组设高、中、低压缸的差胀，1030MW 机组汽机不设差胀监视也是本体机构决定的。汽缸和转子都会产生热膨胀或冷却收缩。由于转子的受

热表面积比汽缸大，且转子的质量比相对应的汽缸小，蒸汽对转子表面的放热系数较大，因此在相同的条件下，转子的温度变化比汽缸快，因此转子与汽缸之间存在膨胀差，而这差值是指转子相对于汽

缸而言的,故称为相对膨胀差,简称差胀。对 320MW 机组汽机而言,转子的死点在推力瓦 (#2 瓦处),缸的死点在低压缸中部,所以转子和缸的热膨胀方向相对,差值比较大,所以分别在高中低缸的轴承座内部配置了电涡流探头测量差胀值。

1030MW 机组转子相对于汽缸膨胀的死点,在 2#轴承座内推力轴承处,高压缸转子从推力轴承处开始朝高压缸前轴承座方向膨胀,此方向的缸体和转子膨胀值都较小;中压缸转子则从推力轴承处开始朝发电机方向膨胀。低压缸转子在轴系膨胀作用下,从推力轴承向发电机的方向偏移。同时,对应的缸的膨胀与转子膨胀方向一致,所以各缸差胀较小,所以没有配置差胀测点。1030MW 机组汽缸与转子的膨胀示意图见图 6。

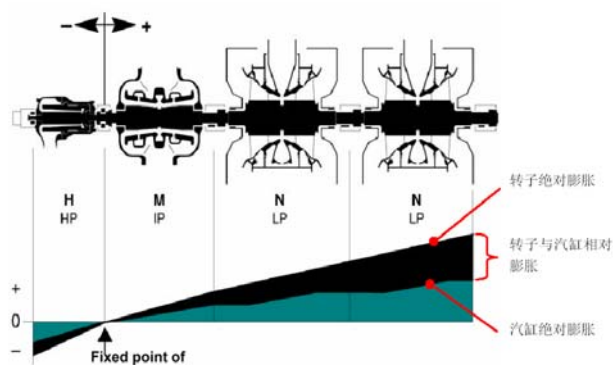


图 6 华能金陵 1030MW 机组汽缸与转子的膨胀示意图

2.3 转速测量之差异

320MW 机组的 DEH 没有百万机组先进,不是纯的电控制,还保留了液控系统,大量的油管路在汽机前箱中,所以转速测量齿轮布置在前箱里,如图 7。

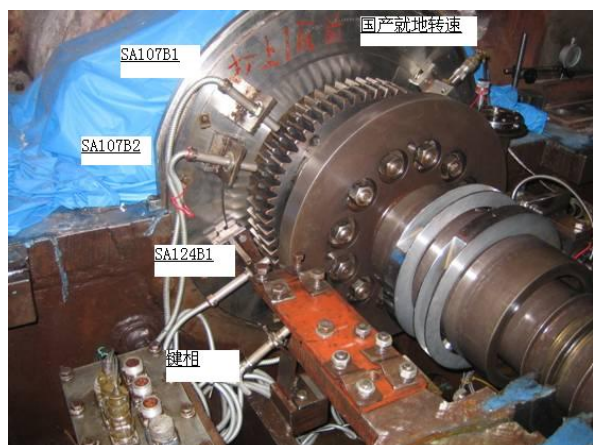


图 7 华能南京 320MW 汽机前箱内轴向位移、键相安装图

1030MW 机组没有前箱,测量齿轮布置在#2

瓦,齿轮顶部径向安装转速探头,侧面作为轴向位移和键相的测量端面,如图 4。就是说,320MW 汽机有轴向位移的凸轮台肩和转速齿轮盘,分别布置在推力瓦处和前箱,而 1030MW 汽机的凸轮台肩和转速齿轮盘合二为一,布置在推力瓦处。比较而言,320MW 转速探头安装的环境干净,温度低,安装维护不方便;1030MW 转速探头安装、维护方便直观,环境差,温度达到 96℃,势必会影响探头特性和寿命。

2.4 轴振测点配置之差异

两种型号汽机轴振探头的安装差异不大。320MW 汽机的每个支持瓦轴振探头安装在垂直和水平方向,1030MW 汽机轴振探头分别安装在与水平线夹角 45°方向。在测量使用中没有太大差异。

2.5 瓦振测点配置之差异

320MW 汽机共 1-9 瓦,在水平、垂直、轴向三个方向均安装了振子,其中水平和垂直方向的振动值投入了保护,轴向只作为监视。实际运行中,华能南京#2 机#8 瓦轴向的瓦振出现过 280μm,而水平和垂直方向瓦振值正常的时候,可见轴向瓦振的测量还是必要的,这样的瓦振测点配置只能说是汽机本体结构要求的。1030MW 汽机的瓦振只在每个支持轴承处,与水平线夹角 45°角方向布置,说明 1030MW 汽机的结构刚性很好,在轴向不需要测量振动,径向也无需分两个方向测量;正因为只有一个方向瓦振测量,在这个方向上安装了两个振子以提高可靠性。

2.6 偏心测点配置之差异

每台机组的偏心测量在汽机起动阶段都是必须的。320MW 汽机的高压转子偏心探头安装在前箱中,中压转子偏心探头在中、低压缸连接处。1030MW 汽机没有前箱,不设专用的高压转子偏心探头,取#1 瓦两个轴振中的一个(1X)的间隙电压作为偏心的参量,设计巧妙,减少了安装难度,减少了探头数量。也不设中压转子偏心测量探头。

2.7 相位测量测点配置之差异

320MW 机组的键相探头安装前箱中,在转速齿轮盘的前方还有一个专门的台肩轮,上面开键槽,触发键相脉冲;1030MW 汽机在推力瓦处的轴向位移监测台肩盘(同时也是转速齿轮盘)的侧面钻孔。来触发键相脉冲。相比较而言,320MW 汽机键相测量位置比较干净,温度低,安装维护不变;

1030MW 汽机的键相和转速、轴向位移探头一样，环境不好，容易沾灰，温度高，但是安装维护直观方便。

3 320MW 和 1030MW 汽机 TSI 探头和卡件选型的比较

现在国内火电厂采用的 TSI 大部分是 EPRO 和本特利两个品牌，较新的型号是 EPRO 的 MMS6000 和本特利的 3500 系列。二者都有软件修正的功能，调试起来非常方便。MMS6000 就有 32 点修正能力，在-4 到-20VDC(-2-18VDC)范围内可以修正电压与机械量的对应关系，再也不用 RS700 或其他的电位器调节了。

华能南京电厂 2*320MW 机组和华能金陵电厂 2*1030MW 机组的 TSI 均使用了 EPRO 公司的 MMS6000 系统，均有 32 点软件修正的功能，是当前主流系统之一。区别在前者的转速使用了 EPRO 公司的霍尔传感器 PR9376/20、MMS6312，后者转速使用了美国 BRAUN 的霍尔传感器。EPRO 公司的霍尔传感器 PR9376 在侧面有一个标志点，标志点在探头径向方向必须顺着触发此轮的槽，否则不能触发出脉冲，而 BRAUN 的探头没有这样的要求，PR9376 探头是光杆，便于调节测量间隙，BRAUN 探头表面是 M14×1 的外牙，调节间隙不便。见表 2。

4 320MW 和 1030MW 汽机 TSI 参数和保护形式的比较

320MW 机组的 DEH 没有 1030MW 的先进，1030MW 的 DEH 已经和 ETS 完全整合一体，在转速控制和超速保护上表现得明显。320MW 汽机的 6 只转速探头中的 3 只的信号送给 ETS，另 3 只的信号送给 DEH；而 1030MW 汽机的 6 只转速探头分两组，同时送入 DEH，都起到保护和调节的作业。

320MW 汽机投入了轴振保护和瓦振保护，而 1030MW 汽机只投入了瓦振保护，未投轴振保护。320MW 汽机的振动保护形式比较传统，是本体结构、材料决定的，同样 1030MW 汽机振动保护形式体现了机组材料的优越、结构的巧妙，笔者认为其只投入瓦振保护更多的着眼于外界对机组安全的影响。

320MW 汽机轴振参数在 DCS 上直接显示瓦振的位移量，轴振 X、Y 方向的位移量；而 1030MW 汽机在 DCS 上瓦振显示速度量，轴振显示的是 X、Y 方向的位移量的均方根，轴振 X、Y 方向的位移量只送给 TDM。可见 1030MW 的轴振监测的是 X、Y 方向的矢量合成量，反映的是振动的能量。见表 3。

表 2 320MW 和 1030MW 汽机 TSI 探头和卡件选型的比较

	华能南京 320MW 汽机	华能金陵 1030MW 汽机
轴向位移	PR6424/01、CON021、MMS6210	PR6423、CON021、MMS6210
轴振	PR6423/01、CON021、MMS6110	PR6423/01、CON021、MMS6110
瓦振	PR9268、MMS6120	PR9268、MMS6120
转速	PR9376/20、MMS6312	BRAUN 霍尔传感器、控制器（DEH）
偏心	高/中 PR6423/01、CON021、MMS6210	PR6423、CON021、MMS6110（同轴振）
键相	PR9376/20、MMS6312	PR6423、MMS6312
缸胀	PR9350、MMS6410	PR9350、MMS6410
差胀	PR6426/00、CON021、MMS6210	无

表 3 320MW 和 1030MW 汽机 TSI 参数和保护形式比较

参数	华能南京 320MW 汽机	华能金陵 1030MW 汽机
轴向位移	3 取 2，+1.0mm、-0.5mm（定零位推力瓦工作面）	3 取 2，±1.0mm（定零位在间隙中点）
轴振	汽轮机支持瓦垂直方向 7 取 2、水平方向 7 取 2，定值 200μm	无保护
瓦振	发电机组垂直方向 9 取 2，定值 100μm	任一瓦 2 取 2，汽机定值 11.8 mm/s，发电机和励磁机定值 14.7 mm/s
转速	3 取 2	两组中任一组 3 取 2
偏心	无保护	无保护
键相	无保护	无保护
缸胀	无保护	无保护
差胀	高中低差胀均无保护	无测点

5 320MW 和 1030MW 汽机其它重要参数比较

320MW 汽轮机和 1030MW 汽轮机重要的机械

参数的测量和保护系统还有值得比较的是瓦温。前者使用 Pt100 热电阻原件, 量程 0-100℃, 报警定值 80℃。而后者使用 E 型热电偶, 量程 0-150℃, 汽轮机瓦温保护定值 130℃, 发电机和励磁机定值瓦温定值 107℃。比较瓦温参数配置的差异, 佐证 1030MW 汽机材料的优越。

6 结论

综上所述, 320MW 汽轮机和 1030MW 汽轮机各有特点, TSI 各项配置无所谓哪个更合理更科学, 但是并不妨碍我们对其进行比较。只能说, 随着时代的变化, 材料的进步, 320MW 机组和 1030MW 机组的 TSI 测点配置、卡件选型、参数和保护设置有很大差异, 1030MW 汽机的结构设计更加巧妙合理, 其 TSI 具有以下特点:

(1) 测点配置少。无需差胀测量, 缸胀只有一点, 偏心只有一点且取自轴振传感器, 瓦振也只有一个方向的测量传感器。

(2) 保护数量少。没有轴振保护, 没有差胀保护。

(3) 保护回路简单。转速测量通道同时用于 ETS 和 DEH 的控制。

(4) 保护参数范围大。汽机定值 11.8 mm/s, 相当于 107μm, 发电机和励磁机定值 14.7 mm/s, 换算后相当于 132μm。尤其瓦温的保护定值明显大于三十万千瓦汽轮机。

(5) 测点位置选点巧妙, 安装、日常维护可以在轴承座外面进行, 方便直观, 维护量小。但是#2 瓦处的轴向位移、转速、键相传感器的环境温度较

高, 长时间必定会影响其性能和寿命。所以, 在 1030MW 机组选用 TSI 设备时必须选择性能好、质量过硬的产品。

(6) 参数设置合理。在 DCS 上显示的是轴振的振幅的矢量最大值, 瓦振直接显示振动烈度, 比传统的显示振动幅值的峰峰值更加直观明了, 更能表现振动的含义。

汽轮机 TSI 配置首先要安全、可靠; 其次要先进, 满足机组自动控制的要求; 最后才考虑经济成本。所谓的安全、可靠, 不仅是指检测设备的质量, 更重要的是服从汽轮机本体结构安全的要求, 测点的设置和安装位置能快速、准确、全面地反映机械量的变化, 连续监控设备健康状况。从 320MW 汽机和 1000MW 汽机 TSI 配置的变化可以看出, 随着材料性能提高, 设计水平进步, 现代大机组 TSI 配置的测点数量不是越来越多, 而是切合机组实际配置必须的测点; 保护不是越来越复杂, 而是根据机组安全需要配置必须的保护, 大容量机组 TSI 的规模和复杂程度甚至会变小。

参考文献:

- [1] 上海汽轮机有限公司.1000MW 超超临界中间再热凝汽式汽轮机安装说明书[Z].

作者简介:

戴 庆 (1968-), 男, 江苏南京人, 工程师, 长期从事热工检测设备技术管理工作;

刘 治 (1986-), 男, 江苏盐城人, 助理工程师, 从事 SI/TDM 技术管理。