

The stress margin of the start-up process of SAIC Siemens unit is accurately controlled Research on technologies for rapid start-up

Shaokai Zhou

Guizhou Qianxi Zhongshui Power Generation Co., Ltd., Bijie, Guizhou, 551500, China

Abstract

To effectively enhance the control accuracy of the stress margin of the high-pressure main steam valve shell, high-pressure regulating valve shell, high-pressure cylinder, high-pressure rotor, and intermediate-pressure rotor of the 660MW unit of SAIC Siemens, and to achieve rapid start-up of the unit, improve the safety, rapidity and durability of the unit operation, this article starts from multiple dimensions and uses methods such as literature research to systematically summarize the influence of factors such as temperature, load, material and process on the prestress margin, generalize the underlying logic of the unit stress margin control, integrate existing technologies, and innovate control methods and improve control paths from the aspects of unit preheating, temperature control, rate control, grid connection control, load control and monitoring and early warning, providing technical support and theoretical basis for the efficient and stable operation of the unit.

Keywords

unit start-up; stress margin; precise control; method path

上汽西门子 660MW 机组启动过程应力裕度精准控制实现快速启动的技术研究

周邵凯

贵州黔西中水电有限公司, 中国 · 贵州 毕节 551500

摘 要

为有效提升上汽西门子660MW机组高压主汽门阀壳、高压调节阀阀壳、高压缸、高压转子、中压转子应力裕度的控制精度,实现机组的快速启动,提升机组运行的安全性、快速性与耐久性。文章从多个维度出发,运用文献资料研究等方法,系统总结温度、负载、材料和工艺等因素对预应力裕度的影响,概括机组应力裕度控制的底层逻辑,整合现有技术,从机组预热、温度控制、速率控制、并网控制、负荷控制以及监测预警等层面出发,创新控制方法,完善控制路径,为机组的高效稳定运行提供了技术支撑与理论依据。

关键词

机组启动; 应力裕度; 精准控制; 方法路径

1 引言

上汽西门子 660MW 机组作为电力生产中的重要设备,合理控制应力裕度不仅能够确保机组安全启动并稳定运行,还能够一定程度上实现快速启动,提高机组的使用效率,延长机组的使用寿命,这对于电力企业的经济效益和社会效益均具有深远意义。

汽轮机热应力评估器 TSE 的基本功能就是对汽轮机的转子、进汽阀门的阀体和汽缸缸体等厚重部件的温差进行监

视,防止由于蒸汽温度与金属温度的不匹配导致金属部件产生过大的热应力,影响部件的使用寿命。这里的温差监视实际上是所谓的温度裕量(Margin)监视。它是汽轮机部件的实际温差和设计温差的差值,温度裕量越大,说明温差越小,部件所受的热应力也越小。

为了确保机组启动和变工况时,其热应力处于可控范围,DEH 根据温度裕量的大小自动设置升速率和最大允许的负荷变动率。而且 TSE 出现故障时,DEH 将不允许机组启动,并闭锁汽轮机升速或变负荷。

2 机组应力裕度精准控制的重要性

2.1 保证机组运行的安全性

在机组启动过程中,汽轮机各部件会承受因温度变化、

【作者简介】周邵凯(1983-),男,中国湖南邵阳人,本科,工程师,从事火力发电厂汽轮机运行(普通管理人员)研究。

机械力等因素产生的应力^[1]。如果应力超过部件材料的许用应力，将导致部件出现变形、裂纹等损坏情况。通过精准控制应力裕度，能够实时监测和调整机组启动过程中的应力状态，确保各部件所受应力始终处于安全范围内。

2.2 强化机组启动的快速性

传统的 660MW 机组启动方式往往为了确保安全而采取较为保守的启动策略，启动过程耗时较长。精准控制应力裕度可以在保证安全的前提下，通过优化启动流程和控制参数，如图 1 所示：

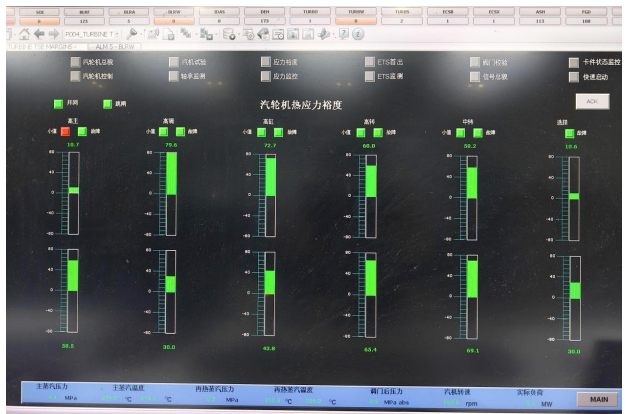


图 1 汽轮机热应力裕度示意图

运行人员通过读取应力裕度数据，掌握机组不同模块的应力变化情况，在此基础上，采取相应举措，使得机组各部件在允许的应力范围内快速升温、升速，实现机组的快速启动。

2.3 提升机组使用的耐久性

汽轮机的启动、运行和停运会使机组部件逐渐积累疲劳损伤。精准控制应力裕度有助于降低部件在启动过程中的应力波动，减少疲劳损伤的累积速度。当机组启动过程中的应力得到有效控制时，部件的材料性能能够保持相对稳定，从而延长部件的使用寿命，进而提升机组整体的使用耐久性。

3 上汽西门子 660MW 机组应力裕度控制方法

3.1 做好机组预热

在机组启动前，进行充分的预热是降低启动过程热应力的重要措施。通过缓慢加热机组，使各部件的温度逐渐升高并趋于均匀，减小部件内外壁以及不同部件之间的温差。以上汽西门子某型号机组为例，其推荐采用中、低压蒸汽加热进行预热。预热蒸汽温度在 280-300℃，压力在 2.6-2.8MPa，流量控制在 10-30t/h，按照预定的升温曲线，以每小时 15-20℃的速率缓慢提升温度。同时，利用布置在汽轮机缸体、转子等关键部位的热电偶传感器，实时监测各部件的温度变化。当监测到部件间温差超过 30℃时，通过调节蒸汽调节阀，调整蒸汽流量，确保预热过程的均匀性和稳定性，为后续的启动过程创造良好的温度条件，降低启动初期的热应力冲击，提高应力裕度。

3.2 做好温度控制

启动初期，升温速率通常控制在每分钟 1.5-2℃，随着部件温度的升高和温度分布的逐渐均匀，在中、后期可适当提高升温速率至每分钟 2.5-3℃。在蒸汽进入机组后，通过调节蒸汽的温度、压力和流量来精确控制机组各部件的温度变化。例如，在汽轮机冲转阶段，通过调整进汽阀门的开度，将蒸汽流量控制在设计流量的 30%-40%，进而控制汽轮机转子和汽缸的升温速率。在整个启动过程中，利用安装在机组各关键部位的高精度温度传感器，实时监测温度数据，并将数据反馈至分布式控制系统（DCS）。当实际温度与预定曲线偏差超过 ±5℃时，DCS 系统自动调整蒸汽调节阀的开度、蒸汽减温器的喷水量等控制参数，确保温度变化始终符合预定曲线，有效控制热应力，保障应力裕度。同时做好机组启动过程中，相关结构温度的测量、分析工作，通过温度精准控制，确保应力裕度保持在合理区间范围。如下表所示：

表 1 某厂 2024 年 12 月 20 日上汽西门子 660MW 机组开机过程应力裕度相关参数

时间	0:28	3:20	3:22	3:55	4:02	4:33	4:57
转速 / 负荷	50r/min	700r/min	2117r/min	300r/min	3007r/min	203MW	330MW
#1 高主壳体 100% 温度	268.4	351.5	353.3	335.1	352.7	426.3	438.1
#1 高主壳体 50% 温度	243.9	318	318.1	324.2	324.2	342.6	379.5
#1 高调壳体 100% 温度	226.4	351.9	355	336.1	353.6	365.1	440.1
#1 高调壳体 50% 温度	186.6	339.9	339	339.1	339.9	350.1	401.9
#2 高主壳体 100% 温度	263.3	357.7	357.1	338.1	352.9	427.3	439.6
#2 高主壳体 50% 温度	244.5	328.2	329.1	324.1	324.2	349.9	383.9
#2 高调壳体 100% 温度	221.1	337.9	342.2	323.6	342.2	421.1	438.5
#2 高调壳体 50% 温度	181.5	329	329.7	326	327.6	363.4	404.2
高主壳体裕度	27.7	15.2	15.2	27.7	21.5	-28.5	-9.6
高调壳体裕度	56.2	75.1	75	87.7	81.2	37.1	56.1
高压缸裕度	73.8	73.8	67.7	67.7	61.4	23.6	42.1
高压转子裕度	55.2	54.9	54.9	67.4	53.4	7	26.4
中压转子裕度	67	54.6	48.6	60.9	48.1	3.6	9.8
小选后裕度	25.2	12.7	12.7	31.3	19.1	-31.1	-5.8

3.3 做好升速率控制

机组的升速率直接影响到部件所承受的机械应力和热应力。上汽西门子 660MW 机组在确定升速率时,需综合考虑机组的类型、容量、部件材料以及启动前的初始状态等因素。对于常见的 660MW 等级机组,在启动初期,由于部件温度较低,材料的韧性较差,升速率一般设置在每分钟 100-150r/min,以避免过大的机械应力。随着机组温度的升高和部件热膨胀的逐渐完成,可适当提高升速率至每分钟 200-250r/min。在升速过程中,通过调节汽轮机的进汽量或电机的驱动频率来精确控制升速率。同时,利用安装在轴承座、轴系等位置的振动传感器和转速传感器,实时监测机组的振动和转速情况。当机组振动幅值超过 $50\mu\text{m}$ 或转速波动超过 $\pm 20\text{r/min}$ 时,控制系统自动调整升速率,降低进汽量或调整电机驱动频率,确保机组在升速过程中的稳定性,维持应力裕度在合理范围内。

3.4 做好负荷控制

机组并网后的负荷控制对于维持应力裕度稳定至关重要。根据电网的需求和机组的运行状况,制定合理的负荷调整策略。在上汽西门子机组负荷增加或减少过程中,应遵循缓慢、平稳的原则,避免负荷突变。一般采用先进的负荷控制系统,根据机组的实时运行参数,如蒸汽压力、温度、流量、转速等,动态调整汽轮机的进汽量或发电机的励磁电流,实现负荷的精确控制。当机组负荷变化率超过每分钟额定负荷的 3% 时,控制系统自动调整蒸汽参数,如在负荷增加时,适当提高蒸汽压力 0.2-0.3MPa,同时增加冷却水量 5%-8%,以优化部件的应力状态。

3.5 做好监测预警

建立完善的监测预警系统是实现应力裕度精准控制的重要保障。利用各类高精度传感器,如测量精度可达 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 的温度传感器、精度为 $\pm 0.1\%\text{FS}$ 的压力传感器、分辨率为 $1\mu\text{m}$ 的应力传感器、测量范围为 0-1000 μm 的振动传感器等,实时采集机组各部件的运行参数。通过工业以太网高速数据传输网络,以 100Mbps 的传输速率将这些参数传输至监控中心,由专门的数据分析软件对数据进行处理

和分析,形成直观化的信息表达,如图 2 所示:

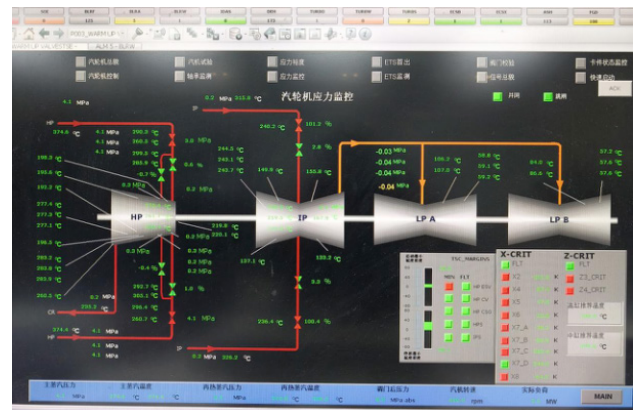


图 2 机组汽轮机应力监控界面示意图

运行人员通过登录相关信息界面,能够快速获取目标数据,掌握汽轮机核心组件的应力分布情况。基于机组的运行模型和历史数据,采用人工智能算法,如基于神经网络的预测模型,对机组的应力状态进行实时评估和预测。当监测到某些参数超出正常范围或预测到应力裕度即将接近临界值时,系统立即发出预警信号,并提供相应的处理建议。

4 结语

上汽西门子机组启动过程中的应力裕度精准控制是一项复杂而系统的工程,通过深入理解应力裕度精准控制的重要性,全面分析温度、负载、材料和工艺等影响因素,并采取一系列科学有效的控制方法,能够在保证机组运行安全性的前提下,实现机组的快速启动,提升机组的使用耐久性。

参考文献

- [1] 吕蒙,李玉宝,王利伟等.上汽西门子660MW汽轮机启动调试过程的问题分析[J].电站系统工程,2020(5):53-57.
- [2] 闫兴亚,唐元贵,梁辉等.基于综合裕度的AUV环肋圆柱壳多目标优化设计[J].机械设计与研究,2024(5):30-35.
- [3] 关淳,杨其国,李宇峰等.大型汽轮机长叶片全工况动应力数值计算及试验研究[J].上海理工大学学报,2023(6):602-609.