

汽轮机降低颗粒磨蚀的措施

赵旺初

(能源部水利部水利电力技术情报研究所)

〔摘要〕 固体颗粒磨蚀有害于近代汽轮机。减少颗粒、防磨镀层和将颗粒引向旁路是目前世界上正在采用的三种解决方法。

关键词 汽轮机 固体颗粒磨蚀 综述

1 前言

发电厂锅炉管和主蒸汽管道上的氧化物结垢引起其内壁鳞状脱落。结垢脱落物随汽流进入汽轮机的危害主要表现在两方面：一是脱落物堵塞机内疏水口导致疏水不畅，甚至引起水冲击，例如合山电厂N75—90型汽轮机曾发生过第20级叶片断裂即上述原因引起的^{〔1〕}；二是结垢脱落物造成汽轮机部件的磨蚀，改变叶片和喷嘴的型线，增加表面粗糙度，扩大间隙，明显地降低效率增加运行成本和检修费用。我国尚未见到这方面的专门试验和调查数据，但机组在运行一段时间后的综合考核，发现效率下降的则大有例在，如下花园电厂N100—90/535型汽轮机运行7000小时后，进行热力特性试验，发现该机组的热效率低于设计值^{〔2〕}。国外则有这方面的具体资料。

美国机械工程师学会(ASME)和美国电力研究所(EPR1)曾调查过固体颗粒磨蚀(SPE)在工业上的损失。最近调查：60万千瓦的机组每年要损失3800美元，其中包括多消耗燃料费2700美元，增加额外维护

费1100美元。整个工业由于SPE引起的损失每年超过15万美元^{〔3〕}。

下面谈谈固体颗粒形成的机理和防止固体颗粒对汽轮机磨蚀和堵塞的措施。

2 氧化和鳞状脱落

金属氧化物使得过热器、再热器和主蒸汽管道的内表面呈鳞状脱落。氧化速度是一个与金属化学、温度水平和启停次数有关的函数，也与温度的变化和金属表面积有关。

对于各种低合金钢，在它们的设计范围内，当汽温达538℃或更高时，氧化速度区别不大。已形成的垢甚薄，其金属损失不会导致管子的损坏。奥氏体不锈钢，因含铬量高，它的抗氧化性能好。奥氏体钢材有一层尖晶石型氧化层，该层含铬量更高而且不易结垢。经验表明，不锈钢部件的氧化颗粒在冷却后会释放出来。在这种情况下，SPE的问题变小了，但并非不存在。

在Dayton电力电灯公司600 MW机组的蒸汽管道上进行试验，分析了300多个蒸汽试样，试验数据表明，汽轮机内颗粒在起动时的浓度为正常满负荷时浓度的4~8倍。这是由

于当停机时,因管子冷却产生的热应力使得四氧化三铁的颗粒释放到蒸汽中去。释放了的四氧化三铁在停机时积累在管道和管子中,在另一次起动时它们又被蒸汽冲刷走。当汽流达到临界流速时,四氧化三铁颗粒就被冲入汽流中去,故颗粒浓度增加。只有在这样一个短时间,四氧化三铁的浓度是高的,旋即浓度下降到一个较低的水平。

为了降低蒸汽流程中颗粒物含量,现有几种方法。化学清洗是电厂常用的除垢方法,制造厂则采用防止氧化物的形成和运行中鳞状脱落的方法。还有是在管子内表面化学清洗后的铬酸盐处理法,即在新管子内表面形成一层铬的渗透层。

3 解决SPE的趋势

在EPRI的帮助下,Foster Wheeler开发公司发展了一种铬酸盐水溶液处理法以减少结垢和鳞状脱落。美国长岛电灯公司Glenwood Landing发电厂在1982年对过热器和汽包炉的蒸汽管道曾用过此法。

被处理的表面与蒸汽产生另一种垢,它是含铁——铬尖晶石的镀层,降低 F^{++} 离子的活力,削弱氧向内渗透的能力。这个尖晶石镀层使成垢速度放慢2/3以上,所以无须经常对过热器、再热器和主蒸汽管道进行化学清洗。

铁——铬尖晶石镀层实际是一个渗透障碍层,试验证明:未经处理的管子内表面结垢的平均速度为 $89\mu\text{m}/\text{y}$,而处理过的则为 $12.6\mu\text{m}/\text{y}$,其长效性显而易见。现场试验则进一步肯定了试验室试验的结果。

铁——铬层的长效性基于其化学高稳定性和两者(铁——铬层和钢管材料)热膨胀系数的近似性。这些性质决定了阻碍状脱落的能力。

经铬化处理了的管子的长期运行不仅说明结垢放慢了,还能长期地保持这较慢的水

平。稳定了的垢阻障着鳞状脱落,而未经处理的管子则反之。

未经处理的锅炉钢管,在高热负荷下,由汽侧结垢引起管壁温度的增高,这将严重缩短其运行寿命,即使蒸汽温度属 480°C 的范畴也是一样。经铬化处理了的管子其寿命几乎不受结垢的影响,其管壁温度也不易因结垢而升高。

4 清除固体颗粒的系统

汽轮机旁路系统、分离法和筛网都是用阻止四氧化三铁颗粒进入汽轮机的途径。美国通用电力公司的试验表明,大多数四氧化三铁颗粒的尺寸均小于 $250\mu\text{m}$,筛网孔应更小才能挡住蒸汽中的颗粒进入汽轮机,但这将增大流阻产生能耗,同时较高的压降使筛网安装结构复杂化,故筛网法在大机组上一般不推荐。分离法亦将导致压降,一般也不推荐。

图1为旁路法系统图,汽轮机启动时采用旁路系统以导走四氧化三铁颗粒。

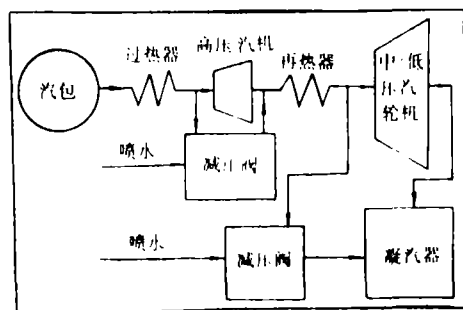


图1 高/低压汽轮机旁路系统图

在一组试样里,四氧化三铁在汽流中从大浓度下降后,机组达到满负荷。这组试样数据表明,当四氧化三铁颗粒浓度甚高时,旁路系统应通过满负荷蒸汽流量的100%,并应在最恰当的一段时间内保持旁路运行,但时间的长短还要取得更多的试验数据来确定。

在欧洲,配备有大容量旁路系统的电

厂,无颗粒磨蚀现象。这一事实提供了这样的信息,即旁路系统有助于阻碍SPE。欧洲那些备有旁路系统的机组,当启动和停机时,蒸汽连续不断地流经再热器和过热器,这不仅有助于消除SPE,此时温度循环也是适度的,因为汽流可以继续不断地冷却。启动中超过538℃的温度偏移经旁路系统后能得到控制而改善。骤冷现象亦可不发生,因为汽轮机进入同步时,汽流正进入再热器。旁路运行方式不易发生垢膜裂开,然而垢裂仍有发生,那是因为管子金属和垢膜的热膨胀系数不同所致。

我国也有装有旁路系统的电厂,如元宝山电厂装有瑞士苏尔寿公司(SULZER)的苏尔寿高压旁路站。旁路站配有ARS-125型旁路减压阀,两台用于配合三缸双排汽反动式313 MW汽轮机,另四台用于配合四缸四排汽冲动式629.6 MW汽轮机。都配有适合其容量的减温水量。苏尔寿旁路站除其固有功能外^[4],还有消除固体颗粒磨蚀的功能。

5 汽轮机的防护层

增加汽轮机对SPE的抵御能力是减少这种损害的第三种方法。在汽轮机敏感部位加防磨层是一种保护方法。通用电力公司开发一种等离子喷镀层,用于碰撞角小于60°的部位。此法对抗磨性明显改善,对低碰撞角所增加的抗磨阻力尤为有效。

这种高水平的抗磨阻力是采用一种新颖的强化沉淀 Cr_{13}C_2 法获得的。这种喷镀物的颗粒很细腻($200\text{Å} \sim 5\mu\text{m}$),它属亚稳相,转换为 $\text{Cr}_3\text{C}_2 + \text{Cr}_{17}\text{C}_3$ 。整个反应分4步:用 $\text{Fe}-\text{Cr}-\text{Al}-\text{Y}$ 或 $\text{Co}-\text{Cr}-\text{Ni}-\text{W}$ 化学成分,喷镀工作在大气中进行而不宜在封闭的环境中进行;用—325筛制 Cr_3C_2 ,然后在538~619℃下热老化。以碳化物为基础的镀层,其抗磨性决定于碳化物的体积分量的高

低及喷镀后就地转化为铬碳化物的程度。这一反应加强了碳化物,产生差不多两倍于原有的硬度,从而大大地增强了抗磨性。

电脑控制先进的等离子喷镀系统给处于蒸汽临界流速的部件提供了均匀的高质量喷镀层。低温(小于260℃)喷镀工艺不会影响基体的冶金性能和尺寸。

6 计算机经济编码

现代的方法学是在计算机编码里采用相互作用的形式,此编码的首字母缩写词是SPEEDM(固体颗粒磨蚀经济决策方法论)。计算机输出与固体颗粒耐磨性的选择进行比较,已被许多国家的电力工程师和管理部门在决策时加以使用,其分析模型如图2。

选择汽轮机部件的抗磨措施时,SPEEDM按有效性和经济性作比较。它模拟补救作用,即延缓或阻止垢的形成或在汽轮机部件上镀层以增加抗磨性。SPEEDM编码还能模拟维护和检修活动。

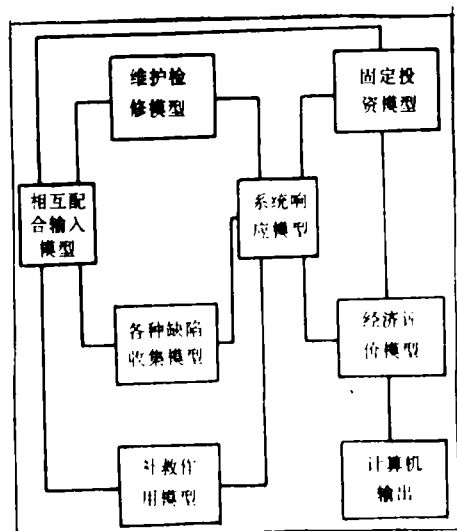


图2 SPEEDM分析模型

SPEEDM还能在各种不同情况下估计性能下降的经济影响。它还能预测已磨损的

部件使之恢复后所能获得的效益。SPEEDM 方法论还能应用于汽轮机因结垢、间隙超差或喷砂而造成的损失。

现场鉴定试验在 Dayton 电力和电灯公司完成后,继之而来的演示试验将在美国许多发电厂汽轮机叶片和喷嘴上进行。SPE 特性试验的数据与分析模型可结合应用,这对改进叶片镀层的SPE 的阻力、运行和维护准则和蒸汽杂质分离设备等的发展有帮助。

7 结 束 语

我国500 MW 以上的大机组在电网中不断地增加,其中国产600 MW 机组即引进美国的技术,SPE 的问题可能已存在。

作者建议:

1. 对配备有旁路系统的电厂,如发现
有固体颗粒磨蚀现象,采用汽轮机启动旁路

法,以导走四氧化三铁颗粒。

2. 60万千瓦及以上大机组在制造出厂前,对汽轮机的敏感部位增加防磨层。

3. 已投入运行没有旁路系统的电厂,如过热器、再热器、集汽包和主蒸汽管道等发现有结垢和鳞状脱落,建议对这些有问题管子的内表面作铬酸盐水溶液处理使构成含铁——铬尖晶石的镀层。

参 考 文 献

- 1 王誉构.防止汽轮机叶片水击损伤.电力技术,1991,24(5):54—58
- 2 McCloskey T H, et al. Minimizing solid particle erosion in power plant steam turbines. Power engineering, 1989, 93(8/9):35—39

Some Measures for Alleviating Solid Particle Erosion in Steam Turbines

Zhao Wangchu

(Water Resources & Electric Power Technical
Information Research Institute)

Abstract

Solid particle erosion is detrimental to modern steam turbines. To cope with this, the three measures commonly taken nowadays are: decrease of solid particles, provision of anti-erosion coating and diversion of particles to a bypass.

Key words: steam turbine, solid particle erosion, overview