15 MW 凝汽式汽轮机效率低故障分析与处理*[1]

金纯祥,王晓峻,郝 科

(内蒙古包钢钢联股份有限公司煤焦化工分公司,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 文章结合生产工况分析了 15 MW 凝汽式汽轮机效率低的主要原因,是该汽轮机通流部分及进汽喷嘴积盐结垢,同时个别进汽喷嘴有异物堵塞,进一步分析盐垢的成因并提出预防措施。总结汽轮机揭缸检修方案,用高压射流清理通流部分及进汽喷嘴盐垢,用内窥镜配合吸尘器取出进汽喷嘴内的异物,最终汽轮机效率低的故障得以解决。

关键词: 汽轮机; 通流部分; 积盐结垢; 异物堵塞喷嘴; 清理方案

中图分类号: TM311 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009 - 5438(2019)01 - 0081 - 03

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2019.01.020

Fault Analysis and Treatment for Low Efficiency of 15 MW Condensing Steam Turbine

Jin Chun - xiang, Wang Xiao - jun, Hao Ke

(*Coke Chemical Engineering Branch Co. of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: In this paper, the main reasons for low efficiency of 15MW condensing steam turbine are found that the salification and scaling of its flow passage and inlet nozzle as well as the foreign matters plug some inlet nozzles through analysis combining with the working conditions of productions. Moreover, the causes for salt deposit are further analyzed and the prevention measures are put forward. The overhaul plan for opening cylinder of turbine is summarized, the salt deposit of flow passage and inlet nozzle was cleaned up with the high - pressure spray as well as the foreign matters in the inlet nozzles were taken out with the endoscope and dust collector. Finally, the fault was solved.

Key words: turbine; flow passage; salification and scaling; foreign matters plug nozzle; cleanup plan

包钢煤焦化工分公司 2# 干熄焦汽轮机为南京汽轮机厂生产的 15 MW 纯凝汽式汽轮机。2017 年年初出现机组发电负荷逐渐下降的问题,借助干熄焦定修机会曾对 2# 汽轮机进行过 2 次检修,检修过后汽轮发电机组负荷有提升,但是运行不足 1 个月发电负荷又出现逐步下降的问题。尤其在 2017 年 12 月底 2# 机组发电负荷只有 8.2 MW,吨干熄焦发电量不足 75 kWh/t,实际发电负荷只能达到设计负荷的 55% 左右。针对该问题进行分析并拟定相应处理方案。

1 汽轮机设计参数

汽轮机型号: N15 - 3.43 - 5 型,15 MW 凝汽式汽轮机,冲动式汽轮机; 蒸汽压力: 3.43 MPa(最高 3.63 MPa,最低 3.14 MPa); 蒸汽温度 435 ℃(最高 445 ℃,最低 420 ℃); 排汽压力 6.54 kPa; 额定进汽

* 收稿日期: 2018 - 08 - 28

作者简介: 金纯祥(1985 -),男,满族,河北省承德市人,硕士,工程师,现从事干熄焦设备管理维护工作。

中国知网 https://www.cnki.net

量62 t/h;汽轮机汽耗(计算值):4.107 kg/kWh。

2 汽轮机效率低原因分析

2.1 汽轮机实际运行工况

汽轮机在运行过程中发现如下问题:实际最大进汽量50 t/h,发电负荷8.2 MW,由此计算出汽耗6.098 kg/kWh,是设计汽耗4.107 kg/kWh的148.5%,汽耗大;在进汽量50 t/h时实际调节级后压力1.5 MPa,查该汽轮机调节级后压力曲线知该进汽量下调节级后压力计算值为1.25 MPa,实际运行调节级后压力是设计值得120%,调节级后压力偏大;实际油动机行程达到100 mm满行程,汽轮机调速汽门全开,新蒸汽参数均在规定范围内,但现场进汽量只有50 t/h,进汽量严重不足;在最大进汽量为50 t/h时排汽温度70 ℃,排汽温度偏高;汽轮机启机冲转过程中1 100 r/min以下转速不稳定,调速汽门全关的状态下仍有蒸汽进入汽轮机,判断调速汽门关不严;汽轮机轴向位移+0.15 mm,推力瓦温度最高66.2 ℃,正常;凝汽器真空-0.072 MPa,在规定范围内;蒸汽参数及润滑油温度、压力等均正常。

根据上述现象可以总结出该汽轮机运行时主要存在汽耗大、调节级后压力偏大、进汽量严重不足、排汽温度偏高、调速汽门关不严等问题。

2.2 停机用内窥镜检查汽轮机调速汽门及喷嘴

2017年11月15日利用干熄焦定修停机机会对2#汽轮机调速汽门及内部喷嘴用工业内窥镜检查,发现调速汽门6#阀碟及对应扩散形汽嘴有明显结垢现象;内部进汽喷嘴积盐、结垢严重(如图1所示),目测1 mm以上,盐垢呈白色,初步判断为钠盐及SiO_2等沉积物;35个进汽喷嘴中有3个有异物堵塞(如图2所示)。



图1 进汽喷嘴积盐、结垢

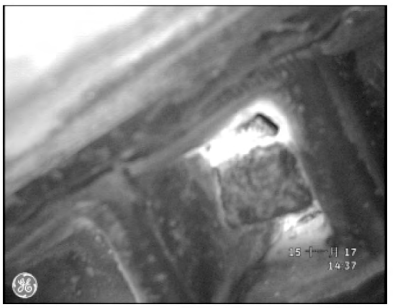


图2 喷嘴上有异物卡阻

2.3 汽轮机发电负荷低的原因判断

调速汽门阀碟及对应扩散形汽嘴结垢使二者结合面破坏,导致调速汽门关不严。汽轮机进汽喷嘴及通流部分结垢会使通流部分面积减小,进汽量减小,这也是实际运行调速汽门全开,但蒸汽流量还是达不到设计值的原因,蒸汽流量达不到设计值,必然导致发电负荷偏低。另外结垢会使动、静叶表面粗糙,摩擦损失增大,汽轮机出力降低而偏离设计工况运行,导致汽轮机效率下降。由实验得知,每积垢厚0.1 mm,级效率将降低4%~5%[1];级效率降低导致汽轮机整体效率下降,排汽温度、冷凝水温度上升,与前期2#汽轮机实际汽耗大,排汽温度高相吻合。

根据汽轮机实际运行工况及内窥镜检查可以断定汽轮机喷嘴及通流部分积盐、结垢,是导致2#干熄焦汽轮机效率低的主要原因,从盐垢的厚度测算影响整机38%左右的效率。同时进汽喷嘴中卡阻的3个异物也影响了部分进汽量,该汽轮机共计35个进汽喷嘴,因此这3个异物经测算影响整机6%~8%的效率。

3 汽轮机效率低故障处理

借助2#干熄焦2018年3月中修机会,对2#汽轮机揭缸检修。

3.1 汽轮机通流部分积盐结垢情况及盐垢的清理

揭缸发现汽轮机转子叶片、隔板、调速汽门进汽喷嘴积盐结垢严重,尤其是复速级喷嘴盐垢厚度达2~3 mm左右,经测算这将影响该级喷嘴50%左右的效率。

除盐垢方法:使用高压射流水枪清洗汽轮机通流部分及进汽喷嘴,清洗压力控制在20~25 MPa,之后用砂带人工清理残存的盐垢,最后再用高压水枪冲洗一次。在人工清理盐垢过程中要保障不损害

中国知网 https://www.cnki.net

转子原氧化层，经除垢后的转子应无锈无垢、表面光滑。最终彻底将结垢层清理干净。

3.2　汽轮机盐垢分析

3.2.1　汽轮机所结盐垢检验

为确定汽轮机盐垢的成分，我们对汽轮机所结盐垢进行定性化验，化验结果见表 1，发现盐垢的主要成分为 Cl、Na、Si。

表 1　盐垢定性化验结果

样号	样品名称	范围	元素
1#	2#汽机复速级盐垢	大量	Cl、Na、Si
		微量	Al、P、S、K、Ca、Fe、Cu、Zn、Br、Mg
2#	2#汽机 6～8 级盐垢	大量	Cl、Si、Na
		微量	Al、P、S、K、Ca、Ti、Fe、Cu、Pb、Br

3.2.2　汽轮机所结盐垢的成因分析

2#汽轮机喷嘴及前几级结垢呈白色，前期运行时锅炉炉水 SiO_2 有超标现象，汽轮机盐垢主要是锅炉过热蒸汽中携带过去的杂质沉积下来的。锅炉过热蒸汽中携带的杂质一般有两种形态：一种是呈蒸汽溶液，这主要是硅酸和各种钠化合物；另一种呈固态微粒状，这主要是没有沉积下来的固态钠盐以及铁的化合物。实际上过热蒸汽的杂质大都呈第一种形态。过热蒸汽进入汽轮机后，这些杂质会沉积在蒸汽通流部分，这种现象通常称为汽轮机积盐。汽轮机的沉积物可分为易溶于水的、稍溶于水的和完全不溶于水的。可溶性的一般为钠盐，如 Na_2SO_4、Na_2SiO_3、NaCl、Na_3PO_4、NaOH 等，由于这些杂质在过热蒸汽中的溶解度并不很大，而随着蒸汽压力的下降，它们的溶解度也会很快下降，所以在汽轮机内，当蒸汽压力稍有降低时，它们在蒸汽中的含量就已高于其溶解度，因此很容易从蒸汽中析出。在这些杂质中，因 Na_2SO_4、Na_2SiO_3、Na_3PO_4 在蒸汽中溶解度较小，最先析出，故主要沉积在汽轮机的高压级内；NaCl 和 NaOH 的溶解度较大一些，主要沉积在汽轮机的中压级内。不溶性的是 CuO、SiO_2、Fe_2O_3 等[2]。

3.3　汽轮机进汽喷嘴的清理

利用工业内窥镜确定异物的具体位置之后，在进汽喷嘴的出汽侧利用 8#铁线将异物松动，之后将工业内窥镜的微型摄像头捆绑在吸尘器软管上，将带有微型摄像头的吸尘器软管插入到进汽道内，接近异物所在位置后开启吸尘器，将异物吸出，异物的直径在 10～20 mm 之间。

4　取得的效果

通过本次故障的判断与处理，启机后汽轮机发电负荷大幅提升至 13 500 kWh/h 以上，发电量达到 115 kWh/t 以上，创下 2#干熄焦发电历史最好水平。同时启机后汽轮机运行的各项参数均能保持在设计范围内，保障了汽轮机安全稳定运行。

5　结束语

汽轮机通流部分及喷嘴积盐结垢会严重影响汽轮机的效率，预防汽轮机积盐结垢的重点是要对锅炉水及除盐水的水质进行严格管理，保障其指标在规定范围内。一旦汽轮机出现积盐结垢问题，最彻底的清理方法就是揭缸清理，揭缸后可利用压力在 20～25 MPa 的高压射流水枪清洗掉汽轮机通流部分及喷嘴等部位的盐垢。另外在揭缸检修过程中可利用工业内窥镜检查汽轮机调速汽门及内部喷嘴的畅通情况，以保障检修质量，达到预期效果。

参　考　文　献

[1]　徐奇焕，徐鸣. 带负荷清洗汽轮机通流部分结垢 [J]. 吉林电力技术，1989，(3)：49－53.

[2]　王　涛，李迎春，于祥海. 汽轮机结垢不揭缸清洗技术的应用 [A]. 山东电机工程学会 2012 年度学术年会论文集 [C]. 济南：山东省科学技术协会，2012：134－136.

中国知网　https://www.cnki.net