

汽轮机冷凝器自转塑料纽带 自动在线除垢防垢技术

俞天兰 彭德其 刘桂英 蒋少青 支校衡 俞秀民 杨相红

(株州工学院机械清洗研究所, 株州 412008)

摘要:通过调查实例强调了保持传热面清洁的重要性,在计算水垢对汽轮机冷凝器传热系数影响的基础上,论证了仅 0.25 mm 厚的水垢会导致传热系数下降 31.2%,介绍了自转塑料纽带的自动除垢防垢和传热强化的原理及其试验结果,进一步计算分析了应用该技术可以为电厂汽轮机带来的经济效益。

关键词:节能;自转塑料纽带;污垢;除垢

中图分类号:TK172

文献标识码:A

Online continuous cleaning foul and anti-foul technology of self-rotating plastic twisted tapes for condensers equipped on steam turbines

YU Tianlan, PENG Deqi, LIU Guiying, JIANG Shaoqing, ZHI Xiaoheng, YU Xiumin, YANG Xianghong

(Shuaik Mechanical Clean Institute, Zhuzhou Institute of Technology, Zhuzhou 412008)

Abstract: The importance of keeping the heat transfer surface clean is emphasized by practical studies. Based on calculating the effect of water foul on heat transfer coefficient of condensers of steam turbines, it is proved that the heat transfer coefficient will be reduced by 31.2% even if the thickness of water fouling is only 0.25 mm. The technology and principle of intensification of heat transfer were introduced and the experimental results were also shown. The economic benefits for power plants are also analyzed and figured out.

Key words: energy saving; self-rotating plastic twisted tape; fouling; clean

传热设备普遍存在着不同程度的结垢,结垢后热阻增大会严重降低设备的传热效率。污垢使我国换热器的运行效率下降的平均幅度为 50%。例如,湖南大乘资氮集团公司是同行业内管理水平和效益都比较好的单位,笔者对自备电厂冷凝器的污垢及其清洗情况的调查是:1.2 kW 机组,冷凝管内径 18 mm,加药的资江水作为循环冷却水,流速为 2.0 m/s (由于胶球清洗装置不好用,已经拆除),冷却水压差为 0.16~0.26 MPa。清洗前后的真空度相差 10%,并且清洗一个月以后就严重下降。循环水出口温度在 31~39℃。9 000 kW (即 75% 负荷)时,真空度只有 8 kPa。可见传热面上的污垢可能会使提高性能的任何尝试都无法成功。因此,就节能措施来说,对

污垢进行评价和防止结垢是最大的焦点之一^[1]。研究保持传热面清洁的自动清洗防垢技术,对电厂的增产增效具有重大的经济意义。

1 污垢影响

1.1 无垢时的传热系数 K_0

以直排冷却水的进出口年平均温度分别为 18、30℃,铜管 $\Phi 20 \text{ mm} \times 1 \text{ mm}$,流速 $u = 2.0 \text{ m/s}$ 为例,冷凝器管内冷却水的对流传热膜系数按 Sieder 和 Take 关联式计算^[2],得到:

$$\alpha_1 = 7628 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{℃})$$

管外蒸汽冷凝系数按水平管束膜状冷凝的 Kern 公式^[2]计算,无垢时的真空度为 7 kPa,经查表

其对应的饱和蒸汽温度为 39℃。通过计算分析,各项热阻的数量级分别是: $1/\alpha_0$ 和 $1/\alpha_i$ 均为 10^{-4} , R_{si} 为 10^{-5} , 单位均为 $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ 。管外为洁净的蒸汽,取管外垢阻 $R_{so} = 0$,经试算管壁的平均温度为 33.07℃,平均的管排数经分析计算取为 20,则 $\alpha_0 = 7013 W/(m^2 \cdot ^\circ C)$,铜管的导热系数为 91.28 $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$,壁厚 1 mm,总传热系数计算得:

$$K = 3021 W/(m^2 \cdot ^\circ C)$$

无垢无纽带时传热系数 K 的理论计算值和工程设计计算值相差不大。管外侧蒸汽冷凝的膜系数计算时完全没有考虑污垢影响,垂直管排数选为 20 也不一定合理,计算结果可能偏高。设计计算值经验性较强,其值一般偏保守一点。因此,本文在分析污垢影响时取 $K = 3179 W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ 。

1.2 污垢影响计算

以直接取江河湖水冷却为例讨论,污垢成分以硅酸盐为主的带黏性泥沙为多,按文献[3]查得的导热系数为 1.163~0.175 $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$,查阅文献[3]软质垢的导热系数为 1.163~3.49 $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ 。在本文的污垢影响计算中取 1.75 $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$,计算不同厚度水垢对 K 值的影响幅度见表 1。

表 1 不同厚度污垢对 K 值的影响幅度

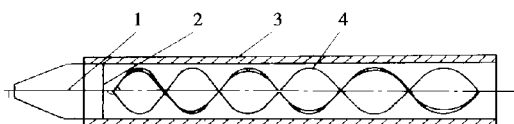
管内污垢厚度/mm	0.0	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25
相应的 K 值/ $W \cdot (m^2 \cdot ^\circ C)^{-1}$	3179	2914	2690	2498	2332	2186
水垢对 K 值的影响幅度/%	0	8.3	15.4	21.4	26.6	31.2

注:污垢成分以硅酸盐为主。

可见,即使污垢厚度不大,其影响也是相当显著的,十分有必要采用能实现自动在线连续清洗防垢的节能技术。

2 自转纽带的自动清洗和传热强化作用

2.1 自动清洗原理



1—转轴;2—管口轴承;3—冷凝管;4—自动清洗塑料纽带

图 1 纽带的自动清洗原理

在冷凝器的每根冷凝管内设置一条与管内壁有一定间隙的自转塑料纽带(如图 1)。在冷却水流动带动下,产生自转和振动摆动。自转纽带的侧刃刮扫,对污垢层作用以周向的剪切应力,径向振摆纽

带的边刃对污垢层产生碰撞挤压。在周向刮扫剪切和径向碰撞的共同作用下,达到对污垢的自动连续清洗作用,对原本无垢的传热面则有很好的自动防垢作用。

2.2 自动清洗能力试验

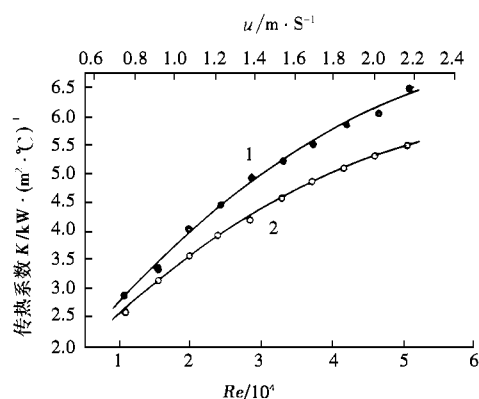
在自转塑料纽带的自动清洗能力模拟试验中,将 3 种不同塑料成分的纽带分别安装在串联的 3 根铜管内,以便在完全相同的流速条件下进行对比。管内均预制好约 1.0 mm 厚的人工污垢。人工污垢用水泥 20% 和碳酸钙 80%,用乳胶调制,其硬度比实际水垢要大得多。安装好纽带后,开泵通水进行污垢清洗能力试验,一周后拆开观察清洗效果,如表 2。

表 2 自转塑料纽带的自动清洗效果

纽带 编号	铜管尺寸/ mm	清洗条件		清洗 效果
		管内流速/ $m \cdot s^{-1}$	清洗时间/h	
1#	$\Phi 20 \times 1 \times 2000$	1.63	168	不干净
2#	$\Phi 20 \times 1 \times 2000$	1.63	168	很干净
3#	$\Phi 20 \times 1 \times 2000$	1.63	168	干净

可见,2#、3# 材质制成的塑料纽带都可以有效地实现自动连续在线清洗防垢。

2.3 传热强化作用



1—有纽带;2—无纽带

图 2 传热强化测试结果

自转纽带不仅具有自动清洗防垢的基本功能,还具有一定的传热强化功能。其结构原理主要是对边界层的扰动,一方面管中近壁区的流体在纽带的导向作用下发生旋转,增加了近壁区的紊流强度;另一方面纽带的旋转和刮扫直接对边界滞留层的扰动。在传热强化试验中,仿照实际生产在 $\Phi 20 mm \times 1 mm$ 的铜管内通冷却水,管外蒸汽加热,测试无垢管内有、无纽带两种条件下的传热系数 K 值,试

验结果见图 2。当 $Re = 5.0 \times 10^4$ 时,安装有自转塑料纽带可以使传热系数 K 值提高大约 16%。

3 自动清洗纽带的增产效益

在汽轮机进汽温度不变的条件下,排汽温度每降低 10℃,装置效率可提高 3.5% 左右;凝汽器压力每改变 1%,中压汽轮机功率将改变 1%,高压汽轮机将改变 0.8%^[4]。下面按此计算真空度提高和汽轮机出力增大的幅度。

比较的前提条件是,冷凝管内是否安装塑料纽带,凝汽器的负荷不变。根据方程, $Q = K \cdot S \Delta t_m =$ 常数,传热系数 K 值提高后,需要的传热温差减少,蒸汽的冷凝温度冷凝压力降低,真空度上升,汽轮机的出力增大。管内安装自转塑料纽带后,不仅使冷凝管内保持清净无垢,并且又有 16% 的传热强化作用。

凝汽器冷却水的进口温度 18℃,出口温度 30℃,对应的真空度为 7 kPa,相应的蒸汽冷凝温度约为 39℃,分别计算出污垢厚度不同的原(既未清洗又无传热强化)凝汽器的真空度和相应的蒸汽冷凝温度,进而计算出真空度提高的百分比以及汽轮机出力增大的幅度。

根据上述计算方法,采用清洗纽带所产生的经济效益见表 3。

表 3 不同厚度污垢的凝汽器采用自转纽带技术后的计算效益

污垢厚度/mm	0.0	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25
无纽带传热温差/℃	14.17	15.35	16.74	18.02	19.31	20.60
无纽带冷凝温度/℃	38.12	39.45	40.74	42.02	43.31	44.60
无纽带真空度/kPa	6.55	7.13	7.41	8.10	8.59	9.10
纽带除垢传热强化幅度/%	0	8.3	15.4	21.4	26.6	31.2
有纽带以后真空度/kPa	5.89	5.89	5.89	5.89	5.89	5.89
纽带的出力增大幅度/%	0.66	1.24	1.52	2.21	2.70	3.21

(上接第 45 页)

4.2 跟踪和研究煤气化技术,为能源替代进行必要的技术准备

我国是煤炭资源丰富而石油资源匮乏的国家,自 1993 年再次成为石油净进口国以来,每年进口量均有所增长,特别是去年在国际原油大幅度涨价的情况下,进口量仍高达 7 000 万 t,预计到 2010 年进口量将突破 1 亿 t,而利用丰富的煤炭资源来缓解石油资源紧张状况必将是未来能源替代发展的主要方向,进行更深、更广范围的“煤代油”,已是大势所趋。

3.1 效益计算

以 12 MW 的机组为例,若原先的污垢厚度分别为 0.00、0.05、0.10、0.15、0.20、0.25 mm,采用自转塑料纽带自动清洗技术后,传热系数分别可以提高 24.3%、31.4%、37.4%、42.6%、47.2%,相应的出力分别可以提高 0.66%、1.24%、1.52%、2.21%、2.70%、3.21%。机组的年运行时间为 6 000 h,每度电的效益为 0.20 元,则经济效益分别可以达到每年 17.86 万、22.18 万、31.82 万、38.88 万、46.22 万元。

4 结论

(1) 即使管内壁的污垢厚度不大,只有 0.25 mm,对传热系数 K 值的影响也已经相当显著,达到 31.2%。

(2) 自转塑料纽带作为一种新型在线的机械清洗方法,具有良好的清洗防垢功能。

(3) 自转塑料清洗纽带还具有一定的传热强化作用,这是胶球清洗和往复刷清洗等国内外现采用的技术所没有的功能。

(4) 全国火电装机容量 1.61 亿 kW 左右,每年新增装机容量 1 100 万 kW 以上^[4],故该技术的应用市场十分广阔。若按 50% 的技术推广率、真空度平均提高 2% 计,机组的年平均运行时间 6 000 h,每度电的增产效益 0.20 元,则每年的增产效益可达 24 亿元。

参考文献

- [1] 日本实用节能机器全书编委会.实用节能全书[M].北京:化工出版社,1987.97~101
- [2] 姚玉英.化工原理(上册)[M].天津:天津科技出版社,1994.309~311
- [3] 杨善让,徐志明.换热设备的污垢与对策[M].北京:科学出版社,1995.265~271
- [4] 中国动力工程学会.火力发电设备技术手册(第四卷)[M].北京:机械工业出版社,1998.12~13,94~95

从目前情况分析,“煤炭直接加氢液化”工艺真正实现工业化应用尚需时日;而“煤炭间接液化(以煤炭为原料制甲醇)”和“煤炭气化(以煤炭为原料生产合成气)”工艺,均已成熟,并付之于工业化应用之中,前景广阔。因此建议以中石化大氮肥装置“煤代油”技术改造为契机,跟踪和研究煤气化技术,加大对煤气化工艺的消化、应用和创新的力度,积累经验,力争掌握先机,为未来的能源替代进行必要的技术准备。■