

自然通风间接空冷塔改造性能试验研究

吴 鹏

(国能浙能宁东发电有限公司, 宁夏 银川 750408)

摘 要 本研究针对复杂建筑环境和气象条件下的大尺度自然通风间接空冷塔系统进行了大尺度空间中中小尺度流场结构的重构研究及其实施, 以实现间接空冷塔系统的综合提效。实验结果表明: 改造后的冷却三角单元及塔整体均比未改造前效果好, 出水温度可由 26.45 °C 降低到 25.60 °C, 降低幅度为 0.85 °C。在无环境风及有环境风工况下, 塔改造后冷却性能表现良好, 气侧均流改造技术可推广到冷塔剩余未改造扇段, 具有节能提效的实际意义。

关键词 间冷塔; 热力特性; 出水温度

中图分类号: TH43

文献标志码: A

文章编号: 2097-3365(2024)09-0004-03

随着工业生产的快速发展, 冷却系统在保证生产效率和设备安全方面发挥着重要作用。间接冷却塔作为一种高效、节能的冷却方式, 其冷却性能的研究对于提高工业生产效率具有重要意义^[1-2]。自然通风间接空冷塔传热过程为典型的系统多尺度传热, 受大尺度空间影响的冷却三角单元小尺度空间流场结构直接影响散热管束、冷却柱、冷却三角、冷却扇段乃至整个间接空冷塔的冷却性能^[3-4]。针对复杂建筑环境和气象环境中运行的大尺度自然通风间接空冷塔系统, 开展大尺度空间中中小尺度流场结构的重构研究及其实施, 实现间接空冷塔系统的综合提效^[5]。本文以某厂 2×1 000 MW 机组自然通风间接空冷塔系统为例进行分析。

1 冷却性能计算方法

1.1 空气相对湿度计算

$$\phi = \frac{-p_r'' - Ap_A(\theta - \tau)}{p_\theta''}$$

式中:

p_r'' ——气温为湿球温度 τ 时的饱和蒸汽压力, Pa。

A ——干湿表系数。

θ ——进塔空气干球温度, °C。

τ ——进塔空气湿球温度, °C。

p_A ——大气压力, Pa。

p_θ'' ——空气温度为 θ 时的饱和蒸汽压力, Pa。

1.2 湿空气的比焓

$$h = c_d \theta + x(\gamma_0 + \gamma_v \theta)$$

式中:

c_d ——干空气的比热容, kJ/(kg·°C)。

γ_v ——干湿表系数, kJ/(kg·°C)。

γ_0 ——水在 0 °C 时的汽化热, kJ/kg。

x ——空气的含湿量, kg/kg(DA)。

1.3 湿空气的密度

$$\rho = \frac{1}{T} (0.003483 p_A - 0.00131 \phi_0'')$$

式中:

ρ ——干湿空气密度, kg/m³。

T ——空气的开尔文温度, K。

1.4 冷却幅高

冷却幅高为出塔水温与空气湿球温度之差:

$$\Delta t = t_2 - \tau$$

式中:

Δt ——冷却幅高, °C。

t_2 ——出塔水温, °C。

τ ——空气湿球温度, °C。

2 试验工况

试验期间, #2 机组维持 80% 额定负荷以上稳定运行, 调整燃烧状态, 维持主参数稳定, 背压稳定, 且间冷塔所有冷却三角单元和三台循环水泵皆正常运行, 所有百叶窗全部打开, 机组需要稳定运行 1 小时。

1. 比较今年以来 6—12 月份 2 号冷却塔 10 冷却扇段与 11 冷却扇段出水温度, 验证改造效果。

2. 比较今年以来 6—12 月份 2 号冷却塔 11 冷却扇段出水温度与 1 号冷却塔 11 冷却扇段出水温度, 验证改造效果。

3. 为测试防寒防冻效果, 分别在 2 号冷却塔 10 扇段 16 号冷却三角单元和 11 扇段 1 号冷却三角单元的内外侧各加装 2 个温度测点, 记录并分析温度分布情况。

3 试验测试计算结果

采用多工况、定量研究 #2 机组间冷塔冷却三角单元改造前后的冷却性能。试验期间，#2 机组维持运行稳定，调整燃烧状态，维持主参数稳定，背压稳定，且间冷塔所有冷却三角单元和三台循环水泵皆正常运行，所有百叶窗全部打开。（注：无环境风工况：环境风速均值小于 2 m/s、各扇段进风风速均值相近且小于 4 m/s；有环境风工况：环境风速均值大于 3 m/s。）

#2 机组间冷塔 11 冷却扇段流场重构及综合提效改造完成后，选取 1、10 扇段 16 号冷却三角单元进风风速均值小于 4 m/s 的一段时间。为测试 #2 机组间冷塔冬季防寒防冻效果，当 #2 机组负荷在 450 MW、环境风速为 3 m/s、10 扇段与 11 扇段百叶窗开度均为 100% 时，分别在 2 号冷却塔 10 扇段 16 号冷却三角单元和 11 扇段 1 号冷却三角单元的内外侧各加装 3 个温度测点，记录并分析壁温分布情况。冷却三角单元壁温分布汇总表 1。

由表 1 可知，10 扇段 16 号冷却三角单元外侧平均壁温为 5.37 °C，内侧平均壁温为 6.07 °C；11 扇段 1 号冷却三角单元外侧平均壁温为 9.03 °C，内侧平均壁温为 9.33 °C。不难看出，11 扇段 1 号冷却三角单元

内外侧整体壁温要高于 10 扇段 16 号冷却三角单元；11 扇段 1 号冷却三角单元内外侧平均壁温差为 0.3 °C，10 扇段 16 号冷却三角单元平均壁温差为 0.7 °C，11 扇段 1 号冷却三角单元平均壁温差更小。在加装导流板后，流场重构壁温分布更加均匀，冷却三角单元换热稳定性良好，防寒防冻效果更佳。

根据 6 月历史数据，选取机组负荷为 811 MW，有环境风工况（环境风速为 3 m/s），10 扇段出水温度分别为 52.64 °C、52.59 °C、52.35 °C，11 扇段出水温度分别为 51.23 °C、51.31 °C、51.12 °C，相邻扇段出水温度分布见图 1。

10 扇段平均出水温度为 52.53 °C，11 扇段平均出水温度为 51.22 °C，平均出水温度下降 1.31 °C，#2 间冷塔改造后的冷却性能较好。

根据 #1、2 机组间冷塔 6—12 月份历史数据计算，#1 机间冷塔 11 扇段平均出水温度分别为 40 °C、42.79 °C、35.43 °C、30.61 °C、21.08 °C、20.62 °C、27.20 °C，#2 机间冷塔 11 扇段平均出水温度分别为 38.92 °C、41.92 °C、34.52 °C、29.73 °C、20.83 °C、19.73 °C、26.28 °C，6—12 月份 #1、2 间冷塔 11 扇段出水温度汇总表 2。

表 1 冷却三角单元壁温分布汇总

名称	单位	10 扇段 16 号冷却三角单元	11 扇段 1 号冷却三角单元
外侧测点 1	°C	4.2	8.6
外侧测点 2	°C	5.7	9
外侧测点 3	°C	6.2	9.5
内侧测点 1	°C	5.4	9
内侧测点 2	°C	6.1	9.4
内侧测点 3	°C	6.7	9.6

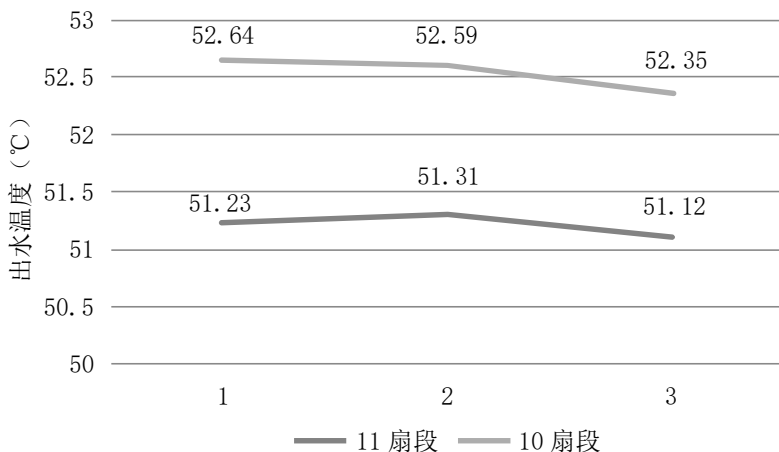


图 1 相邻扇段出水温度分布

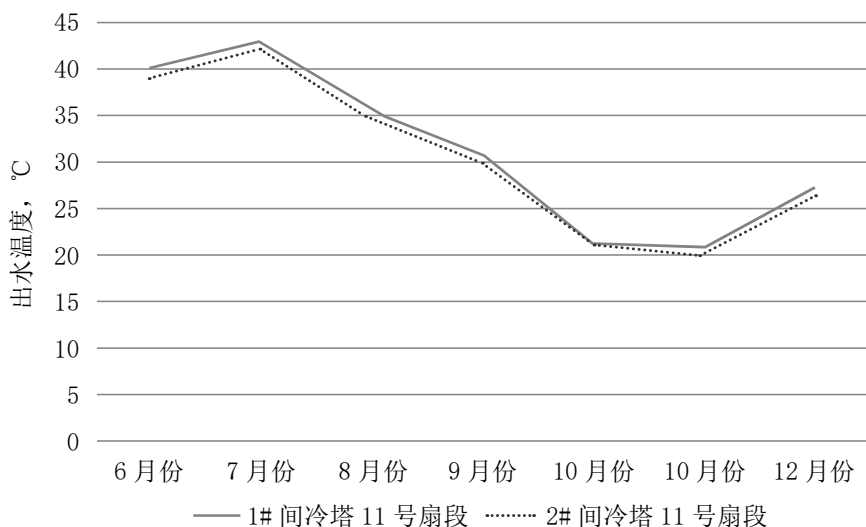


图2 6—12月份#1、2间冷却塔11扇段出水温度汇总

由图2可知, #2间冷却塔流场重构及综合提效改造完成后, 下半年间冷却塔出水温度明显下降, 综合全年数据来看, 可知改造后的冷却三角单元及#2间冷却塔整体均比#1间冷却塔未改造前效果好。在无环境风及有环境风工况下, #2间冷却塔改造后冷却性能表现良好, 气侧均流改造技术可推广到#1间冷却塔, 具有节能提效的实际意义。

#2机组间冷却塔11冷却扇段流场重构及综合提效改造完成后, 选取1、10扇段16号冷却三角单元进风风速均值小于4 m/s的一段时间。为测试#2机组间冷却塔冬季防寒防冻效果, 当#2机组负荷在450 MW、环境风速为3 m/s、10扇段与11扇段百叶窗开度均为100%时, 分别在2号冷却塔10扇段16号冷却三角单元和11扇段1号冷却三角单元的内外侧各加装3个温度测点, 记录并分析壁温分布情况。10扇段16号冷却三角单元外侧平均壁温为5.37 °C, 内侧平均壁温为6.07 °C; 11扇段1号冷却三角单元外侧平均壁温为9.03 °C, 内侧平均壁温为9.33 °C。不难看出, 11扇段1号冷却三角单元内外侧整体壁温要高于10扇段16号冷却三角单元; 11扇段1号冷却三角单元内外侧平均壁温差为0.3 °C, 10扇段16号冷却三角单元平均壁温差为0.7 °C, 11扇段1号冷却三角单元平均壁温差更小。在加装导流板后, 流场重构壁温分布更加均匀, 冷却三角单元换热稳定性良好, 防寒防冻效果更佳。

#2间冷却塔改造后冷却性能较好, 气侧均流改造技术可推广到#1间冷却塔, 可以起到节能降耗的效果。

冷却三角单元加装气侧均流装置后, 机组间冷却塔冬季防寒防冻效果得到改善。

4 结论

#2间冷却塔11扇段1号冷却单元改造和10扇段16号冷却三角单元未改造对比, 得到改造后的冷却三角单元及#2塔整体均比未改造前效果要好, 出水温度可由26.45 °C降低到25.60 °C, 降低幅度为0.85 °C。根据机组凝汽器特性曲线, 综合全年数据来看, 整体性评价效果预计改造后机组背压可降低0.3 kPa。在无环境风及有环境风工况下, #2间冷却塔改造后冷却性能均表现良好, 气侧均流改造技术可推广到#2间冷却塔剩余未改造扇段, 具有节能提效的实际意义; #2间冷却塔改造后冷却性能较好, 气侧均流改造技术可推广到#1间冷却塔, 可以起到节能降耗的效果; 冷却三角单元加装气侧均流装置后, 冷却三角单元换热稳定性良好, 机组间冷却塔冬季防寒防冻效果得到改善。

参考文献:

- [1] 唐隶, 康马欢, 司凤琪. 两机一塔布局下空冷塔流动换热特性及发电机组热经济性研究[J]. 热能动力工程, 2024, 39(05): 65-75.
- [2] 康卫东, 李高潮, 王子豪, 等. 基于环境风温—冷却水温耦合计算的间接空冷塔冬季运行及防冻研究[J]. 华东理工大学学报(自然科学版), 2023, 49(04): 474-480.
- [3] 华敏, 孙永平, 宋涛, 等. 间接空冷塔传热特性分析与脏污程度研究[J]. 汽轮机技术, 2021, 63(05): 365-368.
- [4] 陈铁锋, 陈庆杰, 王立东, 等. 间接空冷冷却三角气侧流动传热特性实验研究[J]. 中国电机工程学报, 2020, 40(S1): 188-194.
- [5] 李晓光. 间接空冷塔冷却三角气侧流动传热特性及其楔形射流传热强化机制[D]. 济南: 山东大学, 2023.