

自然通风塔与机械通风塔在燃机电厂中的应用研究

王勇 李润红

(重庆涪陵聚龙电力有限公司 重庆 408000)

摘要: 冷却系统优化设计对于提高燃气-蒸汽联合循环发电厂效率和降低运行成本具有重要意义。本文以重庆某地 490MW 级燃气-蒸汽联合循环热电联产项目为例, 对自然通风冷却塔和机械通风塔的基本结构、原理、性能特点、能耗和维修成本等性能指标比较研究, 结合发电厂运小时数提出了冷却塔选型意见。

关键词: 自然通风塔; 机械通风塔; 燃机电厂; 联合循环; 性能

中图分类号: 文献标识码: A

引言

随着电力能源需求及其峰谷差不断增大, 燃机电厂作为一种响应快、清洁、高效的发电方式, 得到了越来越多的关注和应

用。自然通风塔和机械通风塔作为燃机发电厂两种可选择的冷却装置, 在工作原理、性能特点、能耗和维修成本等方面有不同特点, 其合理选型直接影响发电厂运行效率和经济成本, 因此开展自然通风塔和机械通风塔两种冷却方式分析比较具有重要意义。

1 项目概况

某地建设 1 套 9F 级燃气-蒸汽联合循环发电机组, 装机容量 490MW, 占地约 160 亩, 以 220kV 电压等级接入当地电网, 总投资 127718 万元。拟采用东方汽轮机厂 M701F4 型燃机, “一拖一” 单轴配置, 选用 D160L 型三压、再热、双缸双排凝汽式汽轮机和东方菱日 MHDB-M701F4-Q 型三压再热式余热锅炉。汽轮机额定工况下凝汽量 405.7 t/h, 焓差 2219.7kJ/kg。锅炉在纯凝工况下高压蒸汽量 308T/h, 温度 568℃, 压力 14.5MPa; 中压蒸汽量 65.5T/h, 温度 314.6℃, 压力 3.28MPa; 低压蒸汽量 51.3T/h, 温度 289℃, 压力 0.508MPa。

项目所在地海拔高程 372.8m, 多年平均气压 979.0hpa、气温 18.2℃、湿度 80%, 多年平均年蒸发量 1000mm, 水源丰富。

2 冷却系统简介

发电厂冷却系统是指将汽轮机内做过功的蒸汽冷凝成水, 再送回锅炉中继续循环使用的降温系统, 主要有水和空气两类冷却系统。水冷却系统是一种由水来作冷却介质将汽轮机排汽降温凝结成水, 效果好、效率高、成本低, 得到广泛运用。

水冷却系统按供水方式可分为开放式直流水冷却系统和闭式循环水冷却系统。开放式直流水由于直接利用大型水体的冷量, 冷却效果最佳, 但是对大型水体造成了热污染; 反之将吸收热量温度升高了的冷却水再经过冷却设备冷却, 降低温度后供再次循环使用, 构成一个封闭的系统, 称之为闭式循环冷却系统。闭式循环水系统又分为冷却水池循环供水系统、冷却水塔循环供水系统及喷水池冷却循环供水系统。

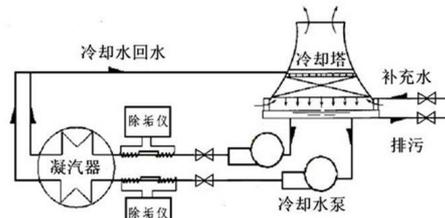


图 1: 发电厂冷却系统示意图

3 冷却方式的选择

项目位于重庆地区, 水资源较为丰富, 选择投资大、冷却效果差的空冷系统, 对项目来说并不经济; 选择直流方式虽然投资少, 冷却效果佳, 但是给水体带来较大热污染, 不宜选用; 本项目是重型燃机发电厂, 所在地夏季属湿热地区, 冷却需量大, 应选择效率高、致冷效果好的冷却塔循环水系统。冷却塔循环水系统又分为自然通风逆流湿式冷却塔(以下简称“自然通风塔”)和机械通风逆流湿式冷却塔(以下简称“机械通风塔”)。

4 自然通风塔与机械通风塔的基本原理

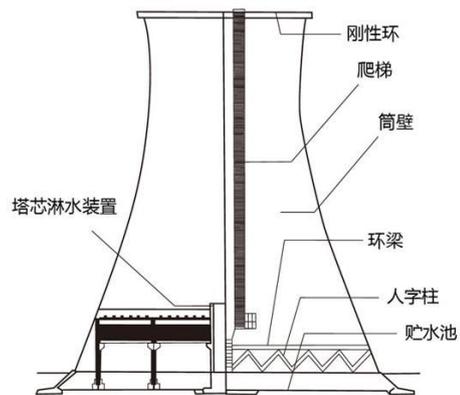


图 2: 自然通风塔结构示意图

4.1 自然通风塔的结构原理

自然通风塔又称双曲线塔, 由贮水池、塔筒基础、支柱、环梁、填料、筒壁、收水器及刚性环等组成, 是一种大型薄壳型构筑物, 高度 75-150 米, 底径 65-120 米, 筒壁第一节(下环梁)以下为配水槽和淋水装置, 多用 PE 或 PVC 材料制成, 淋水装置是使水蒸发散热的主要设备, 塔底有一个蓄水池, 需根据蒸发量连续补水。塔的进口、出口气体密度差产生拔升力, 在拔升力作用

下，冷空气自底端进口流进塔内换热后至顶端排出而无需机械设备提供动力，故称为自然通风塔。

4.2 机械通风塔的结构原理

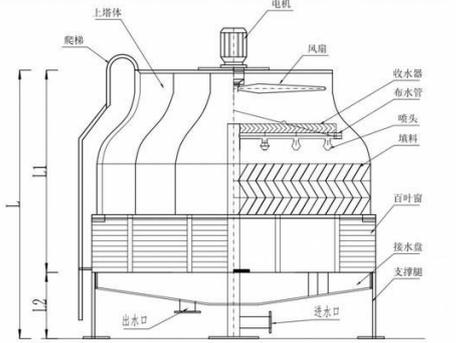


图 3：机械通风塔结构示意图

机械通风塔的主要结构包括支架和塔体、填料、冷却水槽、收水器、进风口、淋水装置、风机、百叶窗等。机械通风塔的散热冷却原理与自然通风塔一样，不同的是需要通过电动风机来形成风压。

5 自然通风塔与机械通风塔的比较

本项目主机凝汽器冷却水量为 22314m³/h，辅机设备冷却水量为 2010m³/h，总冷却水需量为 24324m³/h，冷却塔致冷量按 24000m³/h 配备，循环水泵采用 1 机 2 泵单元制运行。根据气候、水质、项目规模和主厂房布置条件，自然通风塔与机械通风塔均可作为备选方案。

5.1 自然通风冷却塔配置参数

淋水密度按每平方米 7t/h 考虑，配置一座淋水面积 3500m² 逆流湿式自然通风冷却塔，参数见下表：

表 1 逆流湿式自然通风冷却塔参数表

名称	单位	工艺参数	备注
总冷却水需量	m ³ /h	24000	
塔面积	m ²	3500	
进塔水温	℃	38	夏季工况
出塔水温	℃	33	夏季工况
塔总高	m	88.716	
进风口高度	m	5.8	
塔出风筒口内壁直径	m	35.75	
淋水填料高度	m	1	
塔底直径	m	73.656	
冷却塔造价 (设备/土建)	万元	3000	设备 500 万元 土建 2500 万元

5.2 机械通风塔配置参数

该项目也可配置 6 座冷却能力为 4000m³/h 逆流湿式机械通风冷却塔，参数见下表 5-2：

表 2 机械通风冷却塔工艺参数表

名称	单位	工艺参数	备注
总处理水量	m ³ /h	24000	

单塔处理水量	m ³ /h	4000	
进塔水温 t1	℃	38	夏季工况
出塔水温 t2	℃	33	夏季工况
单塔平面基础尺寸	m	19.2*19.2	
风机类别	/	玻璃钢轴流	
风机配用电机功率 N	kW	185	
配置段数	段	6	
年耗电量 (5500h)	万 kW.h	814	
冷却塔造价	万元	1600	设备 600 万元 土建 1000 万元

5.3 技术性能比较

自然通风冷却塔和机械通风冷却塔各有优缺点，结合项目实际应用对比分析如下：

1) 占地面积

自然通风塔必须有一定的过风面积，占地面积较机械通风塔大得多；机械通风塔占地面积小。

2) 地基条件

机械通风塔重量轻、高度低、荷载小，对地基条件要求不高，而自然通风冷却塔则刚好相反。

3) 施工难度

机械通风塔占地面积小，塔体不高，对地基要求不高，施工周期一般为 4-6 个月，施工作业较为容易；自然通风塔占地面积大，塔体高，冷却塔的测量控制难度高、人字柱施工、预制构件的质量控制严格，混凝土观感质量要求高，施工质量不易控制，施工周期 8-10 个月，施工作业难度大。

4) 回流影响

机械通风塔出口位置较低，回流可能引起环境温度增加从而降低冷却效果，设计必须考虑该影响；自然通风塔则由于出风口较高而回流影响较小。

5) 风吹损失

自然通风塔运行时水温受外界温度影响较大，同种条件下风吹损失小；机械通风塔受湿热空气回流影响大，受外界温度影响较小，同条件下，风吹损失大。

6) 气象适应

自然通风塔的主要依靠塔内上下的空气密度差来形成气流，当外界气象条件不利于产生这种密度差 (如空气湿度较大) 时，塔的热工性能下降明显；而机械通风塔主要靠风机来驱动气流，对气候的适应能力则较强。

7) 噪音大小

机械通风塔淋水高度低，淋水噪声和风机噪声均较低；自然通风塔淋水位置高，产生的噪声大且降噪难度大。

8) 冷却效率

由于机械通风塔单位断面的过风量较自然通风塔大得多,水气的热交换更充分,填料的利用率高,冷却效率高;而自然通风冷却塔的效率比较稳定。

9) 运行能耗

机械通风塔运行能耗既有循环水提升泵电耗,又有冷却风机所消耗的电能,能耗相对较高;自然通风塔由于无风机因而运行能耗较低,自然通风塔较高,循环水管长,提升循环水所消耗的电能较机械通风塔高。冬季,机械通风塔可根据工艺要求,只通水而停开一定数量的风机,运行能耗将大大降低,达到节能运行的目的。

10) 维护保养

机械通风塔的风机是旋转设备,故障发生率和维护保养工作量较大;而自然通风塔是静态设备,维护工作量小,但是塔体较高,维修保养难度大。

11) 可靠性

机械通风塔因装有通风装置,故障维修率较高,可靠性低于自然通风塔。当风机故障停用时,冷却塔仍可通水工作,通过自然通风降温仍有 1/3 的冷却能力。

5.4 经济比较

经济比较一般采用年费用法,包括年固定费用及年运行费用。其中,年固定费用为项目总投资乘以年固定费用率 S_n 的值;年运行费用主要包括电费、大修理费、人工费。本项目机组凝汽量约为 405.7t/h,循环水冷却倍率按 55 计算,处理需量约 24000m³/h。本文按自然通风塔面积为 3500m²、高度 88.71m;机械通风冷却塔按 6 台 4000m³/h 配置比较。

1) 投资比较

自然通风塔投资 3000 万元,其中设备费 500 万元、土建费用 2500 万元;机械通风塔投资 1600 万元,其中设备费 600 万元、土建费用 1000 万元。

比较范围包括冷却塔本体、基础、附属设备,塔体外 1 米内的管道。因用地规划已批复,土地占用费不计。

2) 年固定费用

项目投资回报取 8%,设施设备使用年限 20 年,固定资产年费用 S_n 取 10.19%。

自然通风塔固定费用 305.7 万元/年。

机械通风塔固定费用 163.04 万元/年。

3) 运行费

运行费主要分析电耗费用,根据核准报告和接入系统方案,本项目年利用小时按 5500 小时计,电价按发电综合成本 0.5 元/kW·h 计算。循环水泵电耗只计算自然通风塔因提升高度大比机械通风塔多出的电耗,按 150kW 计算。机械通风塔风机电耗按功率乘以等效运行小时数计算,未计算同时率。

自然通风塔运行费为 41.25 万元/年。

机械通风塔运行费为 305.25 万元/年。

本文中未考虑季节不同、气象条件不同对机械通风

塔风机能耗的影响。

4) 维修费

包含填料、塔体和机电设备维护,综合维修难度和频率,均按设备总值 2.5% 计算。

自然通风塔维修费为 12.5 万元/年。

机械通风塔维修费为 15 万元/年。

5) 人工费

综合人工成本按 10 万元/年/人计算。

自然通风塔配 2 名维护人员,维修费为 20 万元/年。

机械通风塔配 3 名维护人员,维修费为 30 万元/年。

6) 年费用

年费用=年固定费用+运行费+维修费+人工费

自然通风塔年费用为 379.45。

机械通风塔维修费为 513.29 万元。

因两种方案蒸发损失接近,未比较补水费用;由于机械通风塔能实现较大的温差和较低的出塔水温,因此可降低冷却倍率,炉岛效率略有提升,以上比较中未考虑此项内容。

6 结论及建议

(1)从技术上看,机械通风冷却塔具有占地面积小、施工周期短、噪音好控制、便于检修维护、初投资费用低、运行灵活等优点,自然通风塔具有能耗低、运行稳定等特点。从经济比较看,自然通风冷却塔的年运行总费用较机械通风冷却塔低,经济比较占优势。

(2)国内燃气-蒸汽联合循环发电厂普遍作为调峰电厂,年利用小时数不高,为提升效率、降低能耗和便于去工业化设计宜选用机械通风塔。本项目建在工业园区,作为本地工负荷的保障电源,接入当地电网,利用小时数高达 5500 小时,建议选用能耗低的自然通风塔。

(3)通过上述分析比较可以看出,两种冷却塔的经济性与年利用小时数密切相关,自然通风冷却塔将随着利用小时数降低而逐步失去优势。本案例,当年利用小时数低于 2712 时,自然通风冷却塔年运行总费用将高于机械通风塔;实践中,应综合考虑项目地质条件、平面布置、投资、工期、机组运行方式等多种因素来综合判断选择。

本文仅仅对机械通风塔与自然通风塔在结构原理、建设造价、技术参数、年运行费用、性能特点等方面进行了粗浅探讨,必然有诸多不足之处,望读者批评指正。

参考文献:

- [1]周军.高效节水瘦高型自然通风冷却塔在燃机电厂中的应用[J].发电与空调,2016,37(6):4.
- [2]刘官郡.机械通风塔在某燃机热电厂的应用[J].工业用水与废水,2006(1):4.
- [3]陈正清,方常芳,李季.亚热带地区燃机发电厂循环水冷端优化及冷却塔选型[J].能源与环境,2022(001):000.
- [4]梁言凯,刘克然,邵斌,等.燃气-蒸汽联合循环机组机械通风塔自然对流冷却分析[J].吉林电力,2017,45(5):4.