

空冷机组辅机循环水冷却方式的选择分析

王磊, 贺瑞雪

(山东电力工程咨询院有限公司, 济南 250013)

摘要:以山西某电厂 2×300 MW 直接空冷机组为依托,对电厂辅机循环水采用机力通风湿冷塔、空冷器和蒸发式冷凝器3种冷却方案分别进行了深入的技术经济比选,最终提出一个技术可靠、经济合理的推荐方案,以对其他相近工程的辅机循环水设计提供参考。

关键词:空冷机组;辅机冷却;机力通风湿冷塔;空冷器;蒸发式冷凝器

中图分类号:TK 39 **文献标志码:**B **文章编号:**1674-1951(2017)07-0067-04

0 引言

随着空冷技术的发展,空冷机组凭其显著的节水优势在西北等缺水地区得到了广泛应用,目前已建及在建的300 MW及以上机组的火力发电厂逾百座,而且呈日益扩大之势。火力发电厂汽轮机组排汽采用空冷系统时,其辅机通常需要设计独立的循环冷却系统。以磨煤机、给水泵、送风机、引风机、真空泵为主的电厂辅机冷却采用湿冷时,湿冷塔耗水约占电厂总用水量的25%~30%^[1],数量较大,如果采用空气冷却方式就可实现进一步节水,但投资增加。本文将对3种常规的空冷技术方案进行比较分析。

1 空冷机组辅机循环水冷却方式简介

空冷机组辅机循环水冷却方式的选择,通常根据电厂供水水源、场地条件、气象条件等经经济技术比较后确定。根据目前已投运及在建的空冷机组辅机循环水的设计方案,电厂辅机冷却可以选用力力通风湿冷塔、空冷器和蒸发式冷凝器。

1.1 机力通风湿冷塔

机力通风湿冷塔是目前空冷机组最常用的辅机循环水冷却方式,其原理是水由上而下喷淋在塔内填料上形成水膜,空气在风机的抽吸下通过填料层和喷水层,水在传热和传质过程中被空气冷却,湿热空气从风筒口散失。冷却塔多采用钢筋混凝土支撑结构,塔内填料、除水器及配水管道、喷头通常为塑料材质,风筒和外围护多采用玻璃钢,塔底部设置钢筋混凝土水池。冷却水为开式系统,因此系统存在蒸发、风吹和排污损失,需要补充新鲜水,水质要求较低,可以采用常规的工业水。

1.2 空冷器

空冷器基本原理类似于汽轮机的带表面式凝汽器的间接空冷系统,工艺流程为:冷却水进入辅机换热器进行换热,受热后的冷却水由循环水泵送至空冷器内,通过空冷散热器的翅片管束与空气进行表面换热(冷空气被抽吸,流过空冷器外侧,从而冷却冷却器内的热水),冷却水被空气冷却后再返回辅机换热器去冷却,构成了密闭循环,闭式循环水采用除盐水。该系统空冷散热器多立式布置在冷却塔进风口外侧,空冷冷却元件为铝管/铝翅片的Forgo型空冷管束或者钢管/钢翅片的空冷管束。由于辅机循环水温一般要求低于38℃,因此辅机空冷器通常配有1套喷雾设备,在夏季高温炎热期(一般环境温度在30℃以上),可采用外喷冷水的方法达到辅机冷却要求。

1.3 蒸发式冷凝器

蒸发式冷凝器是1种将水冷与空冷、传质和传热过程融为一体的冷却系统。其工作原理是冷却介质在换热器管内流动,外部冷却水经喷淋泵提升后向下喷淋到水平放置的光管管束表面,使管外表面形成连续均匀的薄水膜,水膜迅速蒸发带走热量;同时用风机将空气从设备下部窗口吸入,使空气自下向上流动,横掠水平放置的传热管,蒸发后的湿空气由上方的风机抽走,以此循环^[2-3]。此时传热管的管外换热除依靠水膜与空气流间的热传递外,还有管外表面水膜的迅速蒸发散热,从而强化了管外传热。由于水具有较高的汽化潜热,因此管外水膜的蒸发大大强化了管外传热,使设备总体热效率明显提高。管外表面水膜的蒸发使得空气穿过光管管束后湿度增加而接近饱和,风机将饱和湿空气从管束中抽出并使其穿过位于喷淋水分配器上方的收水器,除去饱和湿空气中夹带的水滴后从设备顶部风机出口排入大气中。由于风机位于设备上并向

抽吸空气,从而在风机下部空间形成负压区域,加速了管外表面水膜的蒸发,有利于强化管外传热^[4]。由于其可以利用空气冷却,随着环境气温逐步降低,冷却需要喷淋水量也逐步降低,甚至在冬季寒冷期可以仅靠风冷(一般认为在气温 0℃ 以下时),从而可以节约用水^[5]。外部冷却水循环使用,可采用工业水或除盐水,冷却器内循环水应采用除盐水。

2 设计方案

2.1 项目概况

依托项目为 2×300 MW 直接空冷机组,位于山西省吕梁山脉中段东麓。该地区属温带季风气候,冬季寒冷少雪,夏季炎热,春秋多风干旱。项目所在地的年平均干球温度 11℃,夏季 10% 干球温度 27℃,对应的湿球温度、相对湿度和大气压力分别为 22℃, 61% 和 91.71 kPa。

2.2 机力通风湿冷塔方案

2 台机组开式水体积流量约 4 000 m³/h。冷却水通过循环水泵升压后送到主厂房,用于冷却真空泵、润滑油冷油器、发电机空冷器、闭式循环水板式换热器等,升温后的水经过管道输送至冷却塔冷却降温,然后经循环水泵继续循环使用。

本工程设置 1 座辅机循环水泵房和吸水前池,内设 3 台循环水泵,泵房内部和前池上方分别设置 1 台电动单梁悬挂起重机和电动葫芦,吸水前池内设平板滤网和钢闸板。主厂房内闭式循环冷却水系统设 2 台闭式泵和 2 台板式换热器。

本工程设 1 座 3 格机力通风湿冷塔,其工艺参数详见表 1,方案投资估算详见表 2。

表 1 机力通风湿冷塔工艺参数

| 项目 | 单位 | 参数 |
|-----------|-------------------|---------------|
| 塔体结构 | | 钢筋混凝土框架、玻璃钢围护 |
| 进塔水温 | ℃ | 40 |
| 出塔水温 | ℃ | ≤31 |
| 配置冷却塔数量 | 座 | 1 |
| 单塔处理水体积流量 | m ³ /h | 1 500 |
| 风机直径 | mm | 6 000 |
| 配用电机功率 | kW | 45 |
| 设计风量 | m ³ /h | 610 000 |
| 平面尺寸 | m | 9.2×9.2 |
| 2 台机年耗水量 | m ³ | 223 300 |

注:循环水排污水可用于其他项目用水,不作为耗水进行统计。

2.3 空冷器方案

2 台机组闭式水体积流量约 3 800 m³/h,系统采用母管制供水系统。2 台机组配 3 台循环水泵,1 座

表 2 机力通风湿冷塔方案投资估算

| 项目 | 参数 | 数量 | 费用/万元 |
|-------|--|----|-------|
| 循环水泵 | $q_v = 2\ 000\ \text{m}^3/\text{h}, h = 40\ \text{m},$ $P = 315\ \text{kW}$ | 3 | 30 |
| 冷却塔 | $q_v = 1\ 500\ \text{m}^3/\text{h}$ | 3 | 105 |
| 闭式泵 | $q_v = 1\ 000\ \text{m}^3/\text{h}, h = 55\ \text{m},$ $P = 200\ \text{kW}$ | 2 | 12 |
| 水水换热器 | 换热面积 210 m ² | 2 | 40 |
| 平板滤网 | 2.0 m×2.5 m(高×宽), 材质:Q235B | 3 | 42 |
| 钢闸门 | 2.0 m×2.5 m(高×宽), 材质:Q235B | 1 | 15 |
| 起重设备 | 起重机 5 t,电动葫芦 2 t | 2 | 10 |
| 阀门 | 系统内阀门 | | 45 |
| 管道管件 | 焊接钢管,加强级防腐 | | 90 |
| 合计 | | | 389 |

机械通风干冷塔(8 个空冷器),设置 1 条压力进水管和 1 条压力回水管。经空冷器冷却后的辅机循环水,通过管道回至循环水泵,升压后通过压力进水管至主厂房冷却辅机设备,升温后的冷却水被输送回干冷塔冷却,循环使用。

2 台 300 MW 机组辅机冷却需配备 8 个冷却器,采用两两背靠背布置,每个冷却器由 4 个冷却三角和 1 台直径 9.14 m 的轴流风机组成,每个冷却三角由 6 片空冷管束构成,材质为铝管铝翅片。空冷器采用型钢支撑架和维护结构。

由于采用空气冷却,因此设计冷却水温比湿冷略高,否则所需空冷散热器面积太大,投资太高。2 台 300 MW 空冷机组设计进水温度 43℃,出水温度 35℃,当夏季环境温度超过 30℃ 时,采用外喷冷水(除盐水)的方法降温达到辅机冷却要求。

为了能有效储存该冷却系统所有冷却管、散热器内水量,在冷却塔内设有储(排)水箱,每个冷却三角都有 1 个向储(排)水箱排水的排放系统。每个排水箱都有通气口和人孔。储(排)水箱的冷却水可通过 2 台潜水泵再升压到冷却水系统中。同时为了保持循环水系统的稳定,维持正常的水循环,空冷塔内需设置稳压补水系统。每台机组各设置 1 套,该系统由补水泵、高位水箱及连接管道组成,稳压泵布置在底下储水箱中,水泵根据高位水箱的水位自动控制补水。同时为了保持散热器良好的换热性能,考虑每年应清洗散热器 1~2 次。单台机组辅机空冷器工艺参数见表 3,方案投资估算详见表 4。

2.4 蒸发式冷凝器方案

2 台机组闭式水总体积流量约 3 800 m³/h。

表3 单台机组辅机空冷器工艺参数

| 项目 | 单位 | 参数 |
|------------------|-----------------------|-----------|
| 辅机循环水体积流量 | m ³ /h | 1900.00 |
| 配置空冷器数量 | 台 | 4 |
| 管束数量 | 个 | 96 |
| 翅片管总面积 | m ² | 65000 |
| 综合散热系数 | W/(m ² ·K) | 40 |
| A型夹角 | ° | 49.1 |
| 轴流风机台数 | 台 | 4 |
| 风机直径 | m | 9.14 |
| 电动机功率 | kW | 110 |
| 单台空冷器平面尺寸 | m | 11.3×11.6 |
| 空冷器炎热期降温喷水体积流量 | m ³ /h | 24.00 |
| 空冷器清洗体积流量 | m ³ /h | 10.00 |
| 系统泄漏体积流量 | m ³ /h | 0.35 |
| 空冷器年耗水量(按5500h计) | m ³ | 6782 |

注:(1)空冷器清洗,按照每年每台机组各清洗1次,每次1天,每天8h,清洗水体积流量10m³/h。

(2)空冷系统泄漏率按照0.01%考虑。

(3)典型年中夏季干球温度超过30℃的小时数为238h。

表4 空冷器方案投资估算

| 名称 | 参数 | 数量 | 费用/万元 |
|------|--|----|-------|
| 循环水泵 | $q_V = 1900 \text{ m}^3/\text{h}, h = 40 \text{ m},$ $P = 315 \text{ kW}$ | 3 | 28 |
| 空冷器 | 含散热器、各类水泵、 钢结构等 | 2 | 1350 |
| 起重设备 | 起重机5t | 1 | 10 |
| 管道管件 | 焊接钢管,加强级防腐 | | 80 |
| 合计 | | | 1468 |

系统采用母管制供水系统,2台机组配3台循环水泵,4座蒸发式冷凝器,设置1条压力进水管和1条压力回水管。工艺流程基本同空冷器方案。

2台300MW机组辅机冷却需配备4个蒸发式冷凝器,采用一列式布置,每个蒸发式冷凝器传热管管束为多排不锈钢管排列组成,冷却器采用型钢和

表7 各冷却方案技术对比表

| 项目 | 机力通风湿冷塔 | 空冷器 | 蒸发式冷凝器 |
|---------|-------------------|---------------|-----------------|
| 冷却效率 | 温差较大,冷幅较小,冷却效率较高 | 温差小,冷幅大,冷却效率低 | 温差较大,冷幅小,冷却效率较高 |
| 运行效果 | 出水温度低,运行稳定 | 出水温度较高,运行稳定性差 | 出水温度较低,运行较稳定 |
| 回流影响 | 塔出口位置较靠近地面,有一定回流 | 出口口高且有一定回流 | 出口口较高且有一定回流 |
| 对气候适应能力 | 适应能力强 | 适应能力一般 | 适应能力较强 |
| 占地面积 | 小 | 大 | 较小 |
| 施工周期 | 短 | 短 | 短 |
| 运行维护 | 运行灵活,可调性强 | 运行灵活,可调性较强 | 运行灵活,可调性强 |
| 地基要求 | 对地基承载力要求小 | 对地基承载力要求较大 | 对地基承载力要求较小 |
| 设备运行噪声 | 淋水噪声较高,风机噪声较低 | 无淋水噪声,风机噪声较低 | 淋水及风机噪声较低 |
| 耗水量 | 高 | 基本不耗水 | 较少 |
| 系统工艺流程 | 需设置闭式泵和板热,工艺流程较复杂 | 工艺流程较简单 | 工艺流程较简单 |

钢板支撑维护,设备下方设置钢筋混凝土结构的喷淋水池。

系统设计进水温度43℃,出水温度35℃,当环境温度低于-5℃时,停止喷水采用干式模式运行。

单台机组蒸发式冷凝器工艺参数见表5,方案投资估算详见表6。

表5 单台蒸发式冷凝器工艺参数

| 项目 | 单位 | 参数 |
|--------------------|-----------------------|-----------|
| 管束数量 | 模 | 16 |
| 单模管束规格 | m | 6.0×1.5 |
| 换热管材质 | | 304 |
| 换热管规格 | mm | φ25.0×0.8 |
| 管排数/流程数 | | 8/4 |
| 导热系数 | W/(m ² ·K) | 56 |
| 额定循环水体积流量 | m ³ /h | 950 |
| 喷淋水体积流量 | m ³ /h | 450 |
| 喷淋水泵电机功率 | kW | 30 |
| 风机直径 | m | 8.53 |
| 风机功率 | kW | 110 |
| 空冷器平面尺寸 | m | 11.5×11.5 |
| 单台空冷器年耗水量(按5500h计) | m ³ | 26530 |

表6 蒸发式冷凝器方案投资估算

| 项目 | 参数 | 数量 | 费用/万元 |
|------------|--|----|-------|
| 循环水泵 | $q_V = 1900 \text{ m}^3/\text{h}, h = 40 \text{ m},$ $P = 315 \text{ kW}$ | 3 | 28 |
| 蒸发式 冷凝器 | 含管束、喷淋泵、 玻璃钢维护等 | 2 | 750 |
| 起重设备 | 起重机5t | 1 | 10 |
| 管道管件 | 焊接钢管,加强级防腐 | | 80 |
| 合计 | | | 868 |

3 各冷却方案的技术经济比较

3个方案的技术对比结果见表7,经济对比结果见表8。

表 8 各冷却方案经济对比表 万元

| 项目 | 机力通风 湿冷塔 | 空冷器 | 蒸发式 冷凝器 |
|---------|-------------|--------|------------|
| 设备投资 | 389.0 | 1467.5 | 867.5 |
| 土建及装材费 | 310.0 | 400.0 | 350.0 |
| 可比投资 | 699.0 | 1867.5 | 1217.5 |
| 年固定资产投资 | 87.4 | 233.5 | 152.2 |
| 年耗水费 | 78.2 | 13.6 | 37.2 |
| 年耗电费 | 101.0 | 130.8 | 100.4 |
| 药品和维护费 | 22.0 | 21.0 | 18.0 |
| 年运行费 | 201.2 | 165.4 | 155.6 |
| 年总费用 | 288.6 | 398.9 | 307.8 |
| 名次排序 | 1 | 3 | 2 |

注:(1)年固定分摊率按 12.5%。

(2)工业水价 3.5 元/m³,除盐水价 10.0 元/m³。

(3)电价采用成本电价 0.21 元/(kW·h)。

(4)占地费用所占比例很小不计入总费用。

(5)设备投资包含设备本体以及组成完整冷却水系统的其他设备,包括各类水泵、闸板、滤网、阀门、板换等。

(6)考虑冬季 3 个月可以关停循环水泵、变频风机或调节转速,因此相应设备的轴功率加权系数均按 0.75 考虑。

4 结论和建议

(1)综上所述,3 个方案都有不同的优缺点。机力通风湿冷塔方案优点是初投资少,冷却效率高,适应能力强等,缺点是耗水量大,运行费用高,且主厂房内需要设置闭式泵和板式换热器,系统流程比较复杂;空冷器方案优点是高度节水,工艺流程比较简单,缺点是投资最大,运行费用偏高,占地面积也大,而且冷却效率相对较低,适应能力一般,维护工作量也大;蒸发式冷凝器方案的耗水量和静态投资等主要指标处于机力通风湿冷塔和空冷器方案的中间水平,运行费用接近空冷器方案,如果后期设备造价能

(上接第 66 页)处理[J]. 中国高新技术企业,2016(12): 87-88.

[10]杨强,汪华林,白志山,等. 石膏浆液旋流器的分离性能实验研究[J]. 环境工程学报,2010,4(2):465-470.

[11]沈国清,李志强,安连锁,等. 入口压力与浆液浓度对石膏旋流器分离特性影响的研究[J]. 热能动力工程,2015,30(6):892-896.

[12]孙凤茹,温旭,刘峰. 水环式真空泵汽蚀的原因分析及消除措施[J]. 华北电力技术,2007(4):40-41.

[13]彭德安. 水环式真空泵工作水循环利用[J]. 设备管理与维修,2013(S2):46-47.

[14]王飞,刘姚君,汪澜,等. 氯离子对脱硫石膏及其制品性能影响的研究[J]. 新型建筑材料,2014,41(7): 28-31.

有一定幅度的下降,蒸发式冷凝器凭借其多方面的特点将成为辅机循环水冷却技术发展的主流。

鉴于各方案的技术特点和经济比较结果,本文采用技术成熟可靠、年费用最低的机力通风湿冷塔方案。

(2)在实际工程设计中,采用哪种冷却方式需要优先考虑是否存在场地布置限制、节水政策及电厂全厂耗水指标要求等具备 1 票否决性质的因素;其次如果主机冷却采用间接空冷系统,辅机冷却采用空冷闭式系统,可以在冬季将辅机循环水切换进入主机间冷系统,节省辅机空冷系统的运行电耗,增强辅机空冷系统方案的竞争力;再次由于厂家、材质和区域的不同导致的设备价格、土建费用、水电药费的差异,会使各个方案的最终排序产生不同的结果,因此最终采用的冷却方案需要多方面综合考虑确定。

参考文献:

[1]李海. 空冷电站辅机冷却水冷却方式的探讨[J]. 电力勘测设计,2006(2):36-38.

[2]赵耀,李晓楠. 火力发电厂辅机循环水冷却方式的比较[J]. 电力勘测设计,2015(1):37-41.

[3]包卫. 蒸发式冷凝器用于火电厂冷却系统的可行性分析[J]. 浙江电力,2004,23(4):46-49.

[4]周晓莉. 蒸发冷却器冷却方式探讨[J]. 科技信息,2013(4):449-450.

(本文责编:刘炳锋)

作者简介:

王磊(1983—),男,吉林长春人,工程师,工学硕士,从事电厂水工系统的设计与研究(E-mail:wanglei3@sdep-ci.com)。

[15]尹连庆,徐铮. 氯离子对脱硫石膏脱水影响研究及机理探讨[J]. 粉煤灰,2008,20(3):12-13.

(本文责编:齐琳)

作者简介:

刘凯辉(1991—),男,湖南邵阳人,助理工程师,从事大气污染处理与防治方面的工作(E-mail:1209369059@qq.com)。

刘黎伟(1974—),男,河南洛阳人,工程师,从事大气污染防治与管理方面的工作。

聂海涛(1979—),男,河南三门峡人,助理工程师,从事大气污染处理与防治方面的工作。