

# 直接空冷机组冷端性能优化

刘贝贝

中天合创能源有限责任公司 内蒙古 鄂尔多斯 017399

**摘要:** 火力发电在我国电力行业中占比约为60%~70%，我公司所在的内蒙古西部地区由于水资源匮乏，大部分火力发电机组及煤化工自备机组选型为直接空冷机组。该型机组直接利用空气作为冷却介质对汽轮机排汽进行直接冷却，节水率可达60%~70%。该项技术在火力发电行业广泛应用，突破了煤炭富有、水源贫乏地区发展火电机组的限制，最大限度的减少了火力发电对水资源的依赖和消耗。<sup>[1]</sup>直接空冷技术也存在诸多不足，直接空冷机组的排汽压力较同容量水冷机组高5~10kpa。由于直接空冷机组空冷系统容积大，随着运行时间的推移，空冷系统真空严密性逐年下降，对机组的运行影响较大。随着国家对于火电机组的能耗要求越来越高，提出了“供电标煤耗 < 300克”的要求。为了满足这一要求，对于机组的空冷系统冷端性能进行优化尤为重要。

**关键词:** 直接空冷机组；排汽压力；供电标煤耗；真空严密性；空冷

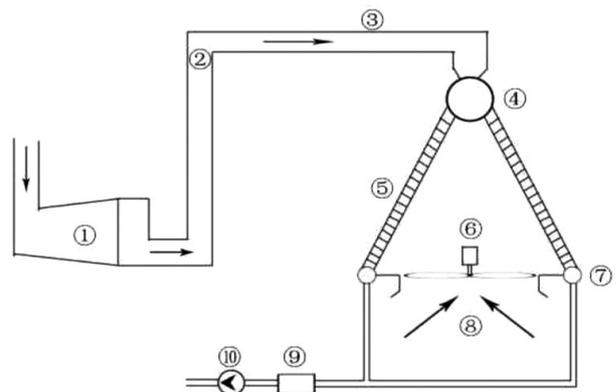
## 1 直接空冷机组空冷系统概述

直接空冷凝汽器（简称ACC）是采用机械通风方式的直接空冷凝汽器系统，汽轮机的排汽直接由空气作为冷却介质，空气与蒸汽间进行热交换，以达到冷凝目的。其工艺流程是：汽轮机排出蒸汽通过排汽管道进入室外的空冷凝汽器内，轴流冷却风机使空气流过冷却器外表面，将排汽冷凝成水，凝结水再经泵送回凝结水处理系统。<sup>[1]</sup>

我厂#2、3汽轮机采用上海电气集团股份有限公司生产的CCZK135-11.8/1.8/0.9型汽轮机，该机组为超高压、单轴、直接空冷、具有两级可调整抽汽式汽轮机。直接空冷系统采用哈尔滨空调股份有限公司冷却设备，布置于汽机厂房外空冷平台上，空冷平台与汽机厂房毗邻布置。由于受东西方向长度限制，空冷器的总体布置按每列三台风机，共六列，风机调节方式采用变频调速。每列空冷凝汽器有3个凝汽单元，其中2个为顺流单元，分布在两边排汽管两端，1个逆流为中间单元。凝汽器换热管束采用单排基管，基管（基管材质采用德国维开德板材）为碳钢覆银层复合管，翅片为铝翅片，钎焊在基管上。无论是凝汽器内每排管束的温度是否一致，均保证在所有运行条件下，所有的管束中均充满蒸汽。且设计冷却管束、集管和相关管道应采用自排水设计，其布置应便于蒸汽的有效分配及凝结水的回收。为了保证系统的真空严密性，凝汽器的管束、集管和蒸汽分配管道必须采用焊接连接。空冷岛六列均设有蒸汽隔离阀、抽真空阀、凝结水阀。其系统如图1-1所示。

作为典型传统的直接空冷机组，在运行过程中由于多种因素的影响，如环境温度、风向、风速等，常常会

出现冷端温度波动大、冷却效果不稳定、真空严密性差等问题，严重影响了机组的正常运行和能源利用效率。因此，对直接空冷机组的冷端性能进行优化，可以提高设备的能源利用率和稳定性，降低运营成本，对于机组的高效稳定运行具有重要意义。



①汽轮机；②排汽；③排汽管；④蒸汽分配管；⑤空冷管束；⑥轴流风机；⑦凝结水联箱；⑧风机入口空气；⑨排汽装置（凝汽器）；⑩凝结水泵

图1-1 直接空冷系统简图

## 2 直接空冷机组空冷系统性能影响因素

### 2.1 夏季空冷系统运行影响因素分析

由于内蒙古鄂尔多斯地区地处沙漠、夏季温度较高，空冷系统在夏季时受环境影响很大，主要有以下三个方面：

#### 2.1.1 环境温度

环境温度对空冷系统影响明显。直接空冷系统利用风扇冷却管束内的乏汽，热量通过管束上的翅片与空气进行交换。随季节环境温度逐渐升高时，乏汽与空气的

换热效果逐步下降，且环境温度昼夜变化大，因此机组的排汽压力变化范围较大，机组的空冷系统耗电量在夏季月份达到顶峰。

### 2.1.2 风向、风速

直接空冷系统性能受风向、风速影响十分明显。由于环境中风速的影响，在空冷风机的吸入口附近产生了负压区域，使得本应被全部进入风机入口的气流被该外界风形成负压区吸走，造成风机吸入风量减少，进入冷却单元的空气质量降低，冷却效果变差。

同时由于风向、风速的作用下，在空冷平台的迎风面产生一个或多个漩涡负压区，空冷系统与管束热交换排出的热空气，在此负压的作用下，被轴流风机重新吸入冷却单元内，产生了热风回流现象<sup>[2]</sup>，降低了空冷系统的冷却效果。

### 2.1.3 空冷管束表面清洁程度

空冷管束表面清洁程度直接影响换热效率。空冷系统管束众多，具有结构复杂、间隙小的特点，随着运行时间的推移，翅片间隙就会夹带有杂物，尤其是春夏季的柳絮、杨絮等，造成翅片管束污秽、两侧阻力增大，空气的冷却效果出现恶化，冷却效果大幅下降，对机组的安稳运行和经济运行产生了严重的影响。

## 2.2 冬季空冷系统运行影响因素分析

在冬季运行中，空冷系统的防冻工作成为重中之重。如果空冷系统管束出现大面积冻结、损坏等问题，将严重影响机组的运行安全，同时也不利于机组的经济运行。结合我厂机组运行经验，分析原因主要有以下两方面。

2.2.1 乏汽上岛量偏低或环境温度过低。当气温达到最低极限温度时，乏汽的冷凝速度加快，冷却段缩短，凝结水的过冷度增加，调整不及时可能出现冻凝问题，造成该列管束内的乏汽停滞不流动。即使满足厂家提供的不同温度下最小冷却流量要求，调整不及时，在低温环境下同样可能出现冻凝。

2.2.2 空冷岛各列之间热负荷分配不均。我厂机组空冷岛采用3×6布局，6列空冷单元分别设3台风机（其中中间风机具有反转回暖功能）。由于乏汽流向问题，与各风机空气的接触顺序不同，所以第一台风机对应的管束热负荷较高，第三台风机对应的管束热负荷相对较低，逆流区热负荷最低。由于风机调整问题，导致第三台风机对应的管束区蒸汽流量减少，管束内出现过冷现场，进而出现管束冻凝。

## 2.3 空冷系统泄漏对机组的影响。

### 2.3.1 机组排汽压力升高，经济性下降

由于直接空冷机组空冷系统体积比同容量水冷凝汽器机组大4~6倍，故真空系统泄漏的可能性也随之也增大。空冷系统泄漏后，将持续吸入空气，系统内有空气，会形成气阻，造成低压缸排汽凝结效果变差，降低空冷换热翅片的传热系数，造成真空下降。也就会使机组排汽压力和温度升高，降低机组经济性。同时根据道尔顿定律，系统中进入的空气越多造成空气分压力越大，凝结水中氧气含量增加，加重了水处理的负担，影响了全厂经济运行。

### 2.3.2 空冷系统泄漏对设备的影响

环境温度低，会导致换热管束温差增大。在温差（最高可达66℃）作用下，热胀冷缩现象非常明显。由于水在4℃以下，是热缩冷胀的特点，结冰极易导致空冷换热管胀裂。即在膨胀压应力和冷缩拉应力的共同作用下，与真空系统相连接的管束、管道的焊缝易开裂。处于隐蔽位置的泄漏点难以发现，无法及时封堵处理，会对真空值造成影响。真空值过低还会导致汽轮机排汽温度升高，严重时会造成排汽口超温，产生热变形，造成振动增大甚至动静摩擦，损坏机组。

### 2.3.3 系统氧含量升高，增加水处理负担

空气漏入空冷凝汽器也会使凝结水含氧量升高，增加除氧的难度，严重时腐蚀汽轮机及其辅机设备。

因此，在机组运行过程中应重点关注汽轮机真空严密性试验结果，当结果不合格时，应分析其原因，并选择快速可行的应对方案，保证机组的安全、经济、稳定运行。

## 3 直接空冷机组空冷系统冷端优化措施

### 3.1 夏季空冷系统优化措施

#### 3.1.1 调整叶片角度，增大风机出力

根据空冷系统厂家指导，在保证空冷系统安全的前提下，可以将轴流风机叶片角度进行适当调整。我厂将每列中2台顺流风机叶片角度由13.5°调整至14°，逆流风机叶片角度由11°调整至14°，调整后同工况、同气象条件下机组排汽压力下降了1.7kpa。但需要注意的一点是，叶片角度调整后重点需要监测空冷系统框架振动情况，避免出现框架产生共振对结构产生破坏。

#### 3.1.2 增设喷淋冷却系统

如厂内除盐水充足，可考虑在空冷冷却单元内增加喷淋冷却系统。由于水的汽化潜热较大，该系统喷出的雾化除盐水吸收空气中的热量，可有效降低空气的干球温度，提升空气的换热能力，从而实现机组排汽压力降低的目的，提升机组运行经济性。

#### 3.1.3 定期进行空冷翅片清洗

我厂机组设置了高压冲洗水系统,定期使用该系统对翅片管束进行清洗,可有效去除管束翅片间积累的灰尘、毛絮等杂物,提升空冷系统换热效率。具体冲洗频率可根据历年空冷系统翅片污浊程度灵活掌握,同时必要时可考虑采用人工高压水冲洗对空冷翅片进行彻底清洗。

#### 3.1.4 及时投用低压缸减温水

根据机组排汽压力及低压缸排汽温度,及时投用低压缸减温水,可将低压缸减温水水源由凝结水调整为冷除盐水,提升减温水喷淋降温的效果。

#### 3.1.5 保证空冷冷却单元严密性

对空冷系统进行全面密封性检查,对冷却列存在漏风的地方进行封堵,对损坏无法关闭的风门进行维修,巡检过程检查各空冷单元风门处于关闭状态,确保空冷风流能够全部通过换热翅片。

### 3.2 冬季空冷系统优化措施

#### 3.2.1 适当提高机组排汽压力

在进入冬季运行期时,在满足机组的安全经济运行的前提下,可适当降低风机转速,提升机组排汽压力,此时同负荷下机组进汽量将会增大,空冷系统热负荷提升,最大限度降低空冷系统冻凝的可能性。

#### 3.2.2 对空冷系统管束“保温”

在冬季严寒天气预警时,提前将迎风侧空冷单元翅片外加盖棉被,关闭空冷岛百叶窗,最大限度保证空冷系统的热负荷,保障空冷系统严寒天气下的安全运行。

#### 3.2.3 及时调整风机频率

对岗位运行人员下达操作指令,要求监盘过程中严密监视抽真空管道、凝结水管道温度,及时调整风机频率,避免两者温差过大,凝结水出现过冷,导致系统出现冻凝。巡检时使用红外热成像及红外测温枪对各空冷系统管束进行表面温度测量,判断各列空冷系统运行情况,及时发现异常情况,予以及时调整。

### 3.3 空冷系统泄漏应对措施

#### 3.3.1 定期进行真空严密性试验

真空严密性试验是通过停用抽真空系统在持续机组负荷及主汽参数不变的情况下,通过真空下降速度,来

确定漏入真空系统空气量的大小,从而判定汽轮机真空系统严密性的一种定期试验。为了保证机组空冷系统严密性,使处于最经济状态运行,需要定期(建议每月至少进行一次试验)对机组进行真空严密性试验。并根据严密性试验结果,对机组真空系统进行查漏、堵漏,以便于尽可能减少真空系统漏入的空气量。

#### 3.3.2 开展空冷系统在线查漏堵漏工作

超声波查漏是利用气体在泄漏点处产生摩擦,产生特殊的摩擦信号,使用超声波查漏仪可以准确的查找处漏点。氦质谱仪是设备将气体电离,利用不同荷质比的离子电磁特性不同,追踪氦分子进行漏点检测。委托专业查漏单位在机组运行状态下使用超声波测漏仪和氦质谱检漏仪对机组空冷系统进行查漏工作,重点是对蒸汽分配管与管束连接处的焊缝、各排汽管道的法兰、低压缸防爆门等部位进行查漏。我厂#2机组通过为期13天的查漏、消漏工作,累计发现消除漏点46处。在运行工况、环境温度相同的条件下,机组排汽压力降低了5.72kpa,空冷系统泄漏的情况得到大幅度缓解。

由于直接空冷机组运行中存在各种问题,导致大部分直接空冷机组排汽压力平均值高于设计值1~3kPa。而汽轮机排汽压力每降低1kPa,机组运行效率将,机组热耗降低4%~5%,有效的降低了供电标准煤耗,因此空冷系统的冷端优化对机组的经济运行意义重大。本文结合机组实际运行经验,从夏季工况、冬季工况、真空严密性三个方面对空冷系统的冷端优化进行了阐述分析,并提出了对应的解决措施,采取措施后可以使机组排汽压力降低2~5kpa,可有效提升空冷系统性能,对提升直接空冷机组运行的安全性和经济型具有十分重要的意义。

#### 参考文献

- [1]尹晓晖.直接空冷机组冷端系统在线优化计算[D].山西:太原理工大学,2018.
- [2]李勇,郭良军.直接空冷机组空冷岛运行优化方案[J].山东化工,2013,42(12):3.DOI:10.3969/j.issn.1008-021X.2013.12.052.