

# 蒸发式凝汽器在设计中应注意的问题

王红娜, 祁怀胜, 王庆光, 李换利

(洛阳隆华传热节能股份有限公司, 河南 洛阳 471132)

**摘要:**介绍了蒸发式凝汽器的应用背景, 论述了蒸发式凝汽器换热的机制。蒸发式凝汽器的实际应用突显了蒸发式凝汽器节水、节能的优势。结合蒸发式凝汽器设计工作经验和工业应用实例, 提出了蒸发式凝汽器在设计中应该注意的问题。

**关键词:**蒸发式凝汽器; 水冷凝汽器; 直接空凝汽器; 潜热换热

**中图分类号:**TK 264.1<sup>+</sup>1

**文献标志码:**B

**文章编号:**1674-1951(2014)06-0063-02

## 1 问题的提出

我国水资源短缺且分布不均匀, 火力发电厂水冷式凝汽器对水资源高度依赖, 它耗水量大且动力消耗高, 特别是在煤炭资源丰富、严重缺水的西北地区, 水冷式凝汽器的工作特性严重制约了火力发电厂在该地区的建设。由于水冷式凝汽器应用的局限性, 加速了新型凝汽器的研发步伐。

具有明显节水效益的直接空凝汽器在国外较早得到了研发和应用。1939年, 德国首先采用了直接空冷系统。20世纪50年代, 匈牙利发展了混合式凝汽器的间接空冷系统(海勒系统)。到了20世纪70年代, 带表面式凝汽器的间接空冷系统(哈蒙系统)和直接空冷系统得到了较大发展<sup>[1]</sup>。近十几年, 电站直接空凝汽器技术迅速发展并日渐成熟。直接空凝汽器以环境空气作为介质冷凝汽轮机排汽, 大大降低了机组的耗水量, 但机组性能的发挥受气候变化影响较大, 夏季高温时机组不能满发, 冬季机组则需要防冻防护。早在1952年, S. G. Chuklin就提出了关于蒸发式换热设计的普遍化方法<sup>[2]</sup>。加拿大“TransAlta”能源公司的75 MW联合发电系统采用蒸发式凝汽器来冷却汽轮机排出的蒸汽, 可满足全年运行的要求。美国弗吉尼亚“Tradewinds”公司锯木场的发电系统, 也采用蒸发式凝汽器冷凝汽轮机的排汽, 运行效果良好<sup>[3]</sup>。

20世纪80年代中期, 同济大学陈沛霖教授将蒸发式换热技术引进我国。近年来, 一些科研单位和企业对蒸发式换热技术进行了试验和理论研究, 取得了一定的进步。

鉴于水冷式凝汽器耗水量大, 直接空凝汽器夏季不能满发的技术难题, 洛阳隆华传热节能股份

有限公司技术人员大胆创新, 在总结机组运行经验的基础上, 自主研发了FQN(Z)系列的蒸发式凝汽器。

## 2 蒸发式凝汽器换热机制及结构组成

### 2.1 蒸发式凝汽器换热机制

蒸发式凝汽器主要利用水的蒸发潜热来换热, 冷凝效果好, 换热性能优良。蒸发式凝汽器换热取决于当地的湿球温度, 不受干球温度的影响, 换热机制先进、高效。

在一般水冷式冷凝器中, 1 kg冷却水1℃温升能带走4.2 kJ的热量, 而1 kg水在常压下蒸发能带走2400 kJ的热量, 因而蒸发式冷凝器的理论耗水量不到一般水冷式冷凝器的1%, 实际上由于吹散损失、排污换水等原因, 因此, 蒸发式冷凝器的耗水量是一般水冷式冷凝器的耗水量的5%~10%。通常补充的水量仅为水冷式的2%~4%, 与水冷凝汽器相比, 蒸发式凝汽器节水节能效应显著。

蒸发式冷凝器的传热量是空气湿球温度的函数, 而空冷式冷凝器的传热量是干球温度的函数。因为湿球温度通常比干球温度低, 加上水膜与金属壁面的传热系数大和风机产生局部负压, 因此采用蒸发式冷凝器的冷凝温度远低于空冷式冷凝器。

蒸发式冷凝器与带冷却水塔的水冷式冷却系统相比, 蒸发式冷凝器把汽轮机乏汽的热量直接传到周围空气中, 而水冷式冷却系统热量必须先由凝汽器中传递给冷却水, 然后再由循环水带到冷却塔中, 最后传到周围空气中。因为蒸发式冷凝器只有一次传热, 所以冷凝温度较低。冷凝温度的降低, 导致蒸汽冷凝压力降低, 因此机组的能耗降低, 整个电厂的热经济性得以提高。当采用蒸发式冷凝器时, 即肯循环的热效率相对于水冷却方式提高了8.6%, 同时其循环净功和汽耗率都有所降低。

### 2.2 蒸发式凝汽器结构组成

蒸发式凝汽器主要由换热系统、循环水系统、轴流风机(供风系统)、收水系统、集水箱组成,其结构如图 1 所示。换热系统安装在箱体内,换热系统上面是喷水装置,汽轮机乏汽均匀地进入换热管内,被冷凝液体流入底部凝结水箱,管内介质冷凝时放出的热量被管外水膜蒸发带走。空气在轴流风机作用下从箱体下部进入,再从上部排出。冷却水被循环水泵压送到换热管束的上方,经喷嘴喷淋后,在换热模块的表面形成水膜。水膜受热后一部分变成蒸汽由空气带走,未蒸发的喷淋水下落与空气逆流接触降温后进入下面的集水箱中,经水泵再送至喷嘴循环使用。随空气上升的小水滴在上升过程中被收水系统拦截,依靠自身重力作用再回到集水箱中。在集水箱中设有浮球阀,以调节新鲜水的补充量,使之保持恒定的水位。

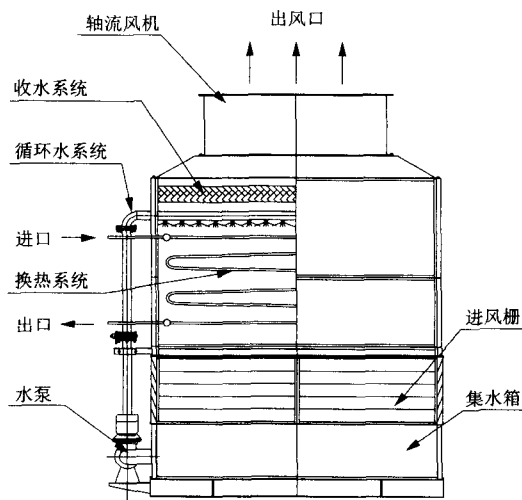


图 1 蒸发式凝汽器结构示意图

蒸发式凝汽器采用模块设计理念,蒸发式凝汽器除有结构紧凑、占地面积小的特点外,其本身还具有制造简单、安装容易、检修便利和维护方便等优点。换热模块及主要支撑部件采用热浸锌铝方法进行防腐处理,可延长其使用寿命。设备外部护板采用镀锌板加喷塑的双重防腐处理,外形美观大方。

### 3 蒸发式凝汽器在设计中应该注意的问题

#### 3.1 汽阻的控制

在凝汽器中,蒸汽最理想的状态是在相同压力下(小汽阻)进行等压冷凝。凝汽器蒸汽侧阻力(汽阻)对机组真空度、换热效率和机组运行动力消耗有很大的影响,甚至会导致凝结水的过冷度变大。

在对蒸发式凝汽器进行结构设计时,应尽量减小系统的汽阻。设计时,必须注意以下问题。

#### 3.1.1 防止空气聚集

对空气聚集程度起决定性作用的是管束的结构。对于进汽管箱、换热管排列和凝结水管箱而言,其结构不能存在汽液流通死区;换热管束抽真空系统不能有死区,以防抽真空不畅,造成系统漏入的空气恶性聚集。需要说明的是,蒸汽导流板,凝结水挡板和其他导流板的结构设计是管束整体结构设计的一部分<sup>[5]</sup>,在设计时,也应注意防止空气聚集。

#### 3.1.2 合理设计换热部件

在设计凝汽器管束排列时,为使汽阻达到最小,可以采取以下措施。

(1) 换热管的形状选取应有利于冷凝时汽液分离,汽液界面的阻力应尽量小(例如采用流通截面大的椭圆管)。

(2) 优化换热系统流程,合理设计凝汽器的工艺参数(例如风机风量、喷淋水量、换热管内流速、换热管长度等)。

(3) 在凝汽器蒸汽进口设计分流装置,使蒸汽在换热管内均匀分布。

(4) 合理设计换热部件中顺、逆流换热管的比例。

国网能源宁夏某电厂 2 × 660 MW 直接空冷系统 #1 机组尖峰冷却装置采用洛阳隆华传热节能股份有限公司自主研发的蒸发式凝汽器(如图 2 所示)。现场测试结果表明,蒸发式凝汽器尖峰冷却系统对直接空冷系统背压降低效果明显,与原系统相比,背压降低 10 kPa。蒸发式凝汽器尖峰冷却系统安全经济性好,整个尖峰冷却系统的汽阻在 2.1 kPa 左右。

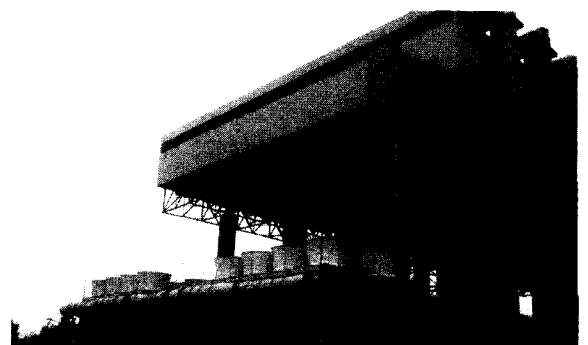


图 2 新研发的蒸发式凝汽器

#### 3.2 蒸发式凝汽器抽真空系统设计

蒸发式凝汽器抽真空系统主要用来排除蒸汽冷凝过程中释放出的不凝性气体(如化学药剂分解产生或原蒸汽中夹带)和因真空系统不严密漏入真空系统的空气。若不凝性气体不能及时排除,会影响凝汽器的换热效率,进而影响整个机组的安全运行。

蒸发式凝汽器抽真空结构设计(下转第 76 页)

### 3 经济性分析

以 1 台新建 600 MW 机组配套的烟气除尘设备为例,在满足 99.9% 以上除尘效率和不大于 30 mg/m<sup>3</sup> 排放质量浓度条件下,旋转极板电除尘器和电袋除尘器的设备投资费用和运行成本见表 3。

表 3 设备投资费用比较 万元

项目	旋转极板电除尘器	电袋除尘器
设备费用	3300	3450
年均易损件更换费用	55	0
年均滤袋、袋笼更换费用	0	210
年均电耗费用	250	310
年均运行费用合计	305	520

### 4 结论

(1) 旋转极板电除尘器和电袋除尘器是适应 GB 13223—2011《火电厂大气污染物排放标准》要求的 2 种高效除尘器,可满足不大于 30 mg/m<sup>3</sup> 的排放要求。

(2) 旋转极板电除尘器和电袋除尘器的技术特性不同,适应的工况不同,电厂应结合自身的实际情况选择最适应的除尘方案。

(3) 对于要求排放质量浓度 20 mg/m<sup>3</sup> 以下的重点地区宜采用电袋除尘器。

(上接第 64 页)对设备整体性能的发挥至关重要。蒸发式凝汽器抽真空结构应具有二次冷凝蒸汽的作用,从而减小抽气中的蒸汽挟带量,提高抽气速率。同时,抽真空结构应保持换热模块整个结构的紧凑性,凝结水管箱内要设置不凝性气体导流板,减少不凝性气体中蒸汽的挟带量。

#### 3.3 蒸发式凝汽器防腐

防腐问题是制约蒸发换热的关键因素,腐蚀不仅能导致设备的传热性能变差,而且会严重缩短设备的使用寿命。蒸发式凝汽器换热部件长期处于湿热空气中,采用热浸锌铝工艺是目前蒸发换热设备防腐处理的主要措施之一。蒸发式凝汽器在采用热浸锌铝时要合理设计工艺,严格控制热浸锌铝温度(一般温度不低于 470 ℃)和时间,以便获得高黏附性的防腐层和高粗糙度的外观<sup>[6]</sup>。

### 4 结论

蒸发式凝汽器是一种新型的凝汽器,它利用水的蒸发潜热换热,换热机制先进、高效,它具有传热性能好和节水节电环保的优点。蒸发式凝汽器在热力发电厂的推广应用,具有水冷式凝汽器和直接空

(4)在同种条件下,电袋除尘器与旋转极板电除尘器相比,投资费用高约 5%,年运行费用高约 70%。

#### 参考文献:

[1] GB 13223—2011 火电厂大气污染物排放标准[S].

[2] 王磊,付启文,卢泽锋,等. 火电厂电袋复合除尘器可靠性分析[C]//2011 年电力环保学术年会论文集. 南京:江苏省机电工程学会,2011:16-19.

[3] 李良芳. 大型电除尘器与电袋除尘器技术经济比较[J]. 中国环保产业,2011(3):17-20.

[4] 梅东升. 电除尘器提效改造的几种典型方式[J]. 华北电力技术,2010(12):38-41.

[5] 何红儿,郇建国,孙真真. 旋转电极式电除尘器在大型火电机组上的应用[J]. 电力科技与环保,2012(3):29-31.

[6] 唐远胜. 燃煤锅炉高效除尘技术设计选型探讨[J]. 重庆电力高等专科学校学报,2011,16(4):84-88.

(本文责编:弋洋)

#### 作者简介:

王磊(1975—),男,江苏徐州人,工学硕士,工程师,主要从事环保领域的研发与设计方面的工作(E-mail:next2004@126.com)。

冷凝汽器不可替代的优势,是目前热力发电厂理想的节能型设备。

#### 参考文献:

[1] 马义伟. 直接空冷凝汽器[M]. 北京:化学工业出版社,1982.

[2] 沈家龙. 蒸发式冷凝器传热传质理论分析及试验研究[D]. 广州:华南理工大学,2005.

[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(4):46-49.

[4] 尾花英朗. 热交换器设计手册[M]. 3 版. 北京:化学工业出版社,1973:415-455.

[5] 邓进龙,江平. 汽阻对凝汽器的影响和减小措施[J]. 汽轮机技术,2000,42(1):45-48.

[6] Thomas H. Cook. Hot-dip galvanizing technology[J]. Metal Finishing,2000,98(8):1924-1928.

(本文责编:王书平)

#### 作者简介:

王红娜(1983—),女,河南洛阳人,工程师,工学硕士,从事蒸发式换热设备的应用研究方面的工作(E-mail:wanghn723@163.com)。