

# 浅谈汽轮机冷凝器节能技术改造

杨继德\*

酒泉钢铁(集团)有限责任公司酒钢能源中心, 甘肃 735100

**摘要:** 汽轮机冷凝器节能改造是一项重要的技术内容, 冷凝器在汽轮机中属于关键的设备, 在汽轮机工作时冷凝器产生了大量的能源浪费, 不符合节能降耗的要求。汽轮机冷凝器运行中专门提出了节能技术改造的要求, 目的是降低汽轮机冷凝器的能源消耗, 最主要的是实现冷凝器的节能运行, 体现冷凝器节能技术改造的优势。本文主要探讨汽轮机冷凝器节能技术改造的相关措施。

**关键词:** 汽轮机; 冷凝器; 节能; 改造

## 一、前言

我国电力事业、钢铁产业中均涉及汽轮机的使用, 汽轮机在使用的过程中会产生大量的能源消耗, 其中冷凝器造成的能源浪费是不能忽视的, 我国电力事业、钢铁产业等均已朝向绿色化、节能化的方向发展, 对汽轮机冷凝器也提出了节能改造的要求。冷凝器在汽轮机中具有综合性的运行特征, 冷凝的过程中涉及大量的分项系统, 这时就会增加冷凝器的工作负担, 促使冷凝器面临着高消耗的问题。冷凝器节能技术改造一直是一大难题, 按照汽轮机的工作需求以及运行现状组织好冷凝器的技术改造, 保证冷凝器具有节能降耗的能力, 进而实现冷凝器的绿色化运行, 提高汽轮机的工作效率。

## 二、汽轮机冷凝器的现行状态

汽轮机运行时排出的水汽离开低压缸后会迅速流入到冷凝器的壳体侧, 冷凝器管道中由循环水泵提供了具有冷却作用的循环水, 水汽会凝结成水, 冷凝器会把凝结的水泵入到水系统后进行循环使用, 冷凝器的工作效率越高, 汽轮机热循环的效率就会越高, 具体的工作原理图如下图1所示<sup>[1]</sup>。

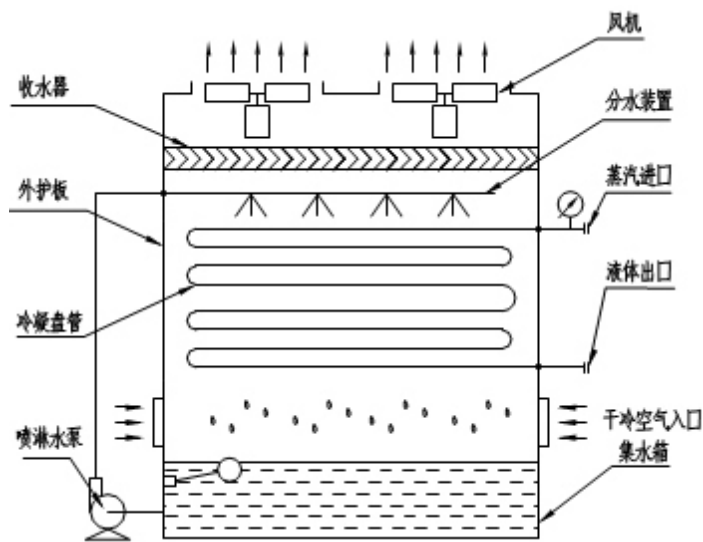


图1 汽轮机冷凝器工作原理图

汽轮机中使用的冷凝器主要有水冷和空冷两种类型, 水冷原理的冷凝器结构表面安装有水汽换热器, 换热器的换热管负责交换蒸汽与冷却水的热量, 开放式的冷凝器结构中的水是取自大自然, 之后循环后再排放到大自然中, 还有一种是湿式冷却塔, 也就是闭环工作状态, 该结构实现了水的循环再利用, 此结构的冷凝器中安装了双曲线冷却塔,

\*通讯作者: 杨继德, 1989年12月, 男, 汉族, 甘肃嘉峪关人, 就职于酒泉钢铁(集团)有限责任公司酒钢能源中心, 助理工程师, 本科。研究方向: 热能与动力工程。

专门用于冷却循环水并再回收,空冷的冷凝器设备分为直接空冷与间接空冷,直接空冷结构的冷凝器需要把汽轮机产生的高温蒸汽引入到冷凝器内,间接空冷结构的冷凝器接入了混合式换热器,实现了汽轮机蒸汽和凝结水的同时降温,换热器中的水分两部分处理路径,一部分回到汽轮机中,另一部分循环进入水汽换热器内。

近几年,汽轮机冷凝器运行中提出了节能技术改造的要求,以冷凝器在汽轮机中的现行状态进行节能技术改造,以此来提高冷凝器的运行水平,进而满足汽轮机的需求<sup>[2]</sup>。本文以某火电厂中的汽轮机为分析背景,探讨汽轮机冷凝器节能改造的现状。该火电厂中汽轮机中使用的冷凝器的冷凝压力偏高,与国外先进的冷凝器运行技术相比,国内冷凝器的冷凝压力高出2 kpa左右,这样就会在运行中产生3.0~8.0 g/kW·h的耗能,直接影响到汽轮机的经济效益,也不利于火电厂的节能改造发展。目前,该火电厂评价汽轮机中冷凝器运行的指标主要是压力,冷凝器真空效果、内部清洁度以及热负荷均是影响冷凝器压力的因素,该案例中冷凝器热负荷的影响最为明显,火电厂冷凝器热负荷增加的现象很普遍,该案例中增幅在20%左右,该条件下由冷凝器造成的燃煤损耗就在1.5~3.0 g/kW·h的范围中,由此说明冷凝器节能技术改造是必然的发展趋势,以汽轮机冷凝器的实际情况为主组织节能技术改造,提高冷凝器的节能水平。

### 三、汽轮机冷凝器能耗高的原因

本文结合汽轮机中冷凝器的运行,总结几点冷凝器能耗高的原因,为冷凝器节能技术改造提供参考。

#### (一) 汽轮机冷凝器运行所在的环境中会有大量的发热设备

冷凝器处在发热设备中运行,这时室内与室外的环境温度就会有很大的差距<sup>[3]</sup>,冷凝器运行在高温的室内环境中就会增加整体结构的耗冷量,致使冷凝器的制冷负荷增加,冷凝器需要在制冷的条件下控制好温度,就会产生较高的能耗。

#### (二) 汽轮机冷凝器所处室内环境比室外环境低

也就是室外环境高,冷凝器中的换热量会减小,也不利于冷凝器的节能降耗,冷凝器中换热量的相对值变小之后会降低冷凝器自身的换热效率,因而无法做到节能降耗。

#### (三) 冷凝器长期使用过程中受到环境污染的影响

在冷凝器的内壁、外壁上附着一层油膜污垢,削弱了冷凝器的换热量,导致冷凝器的运行工作中出现了高负荷压力,冷凝压力逐渐升高,产生了能源消耗。

### 四、汽轮机冷凝器节能改造分析

汽轮机在电厂中占有较高的能耗,电厂节能降耗中针对汽轮机提出了一定的要求,实际影响汽轮机能耗的主要因素中,冷凝器占有很大的比重,冷凝器使用不当会在很大程度上影响汽轮机的工作效果,不仅会出现水资源浪费的问题,也会出现能耗增加的情况,冷凝器长期处在高消耗的状态也会引起安全风险,汽轮机运行中专门针对冷凝器提出节能技术改造的要求,以此来完善冷凝器的运行,为汽轮机提供节能降耗的运行条件。

汽轮机冷凝器节能技术改造中,如何高效的做到降低冷凝器工作温度并且提高热交换的效率成为主要的问题,很多冷凝器节能技术改造案例中会通过改造冷凝器结构,如更换冷凝管,增设节能装置,如加装余热发电装置等的方法实现冷凝器的节能降耗,强调冷凝器在汽轮机中的节能效果<sup>[4]</sup>。汽轮机冷凝器节能改造分析中,必须意识到冷凝器与汽轮机的关系,同时还要了解冷凝器产生能耗浪费的原因,上文中已经有总结了几点冷凝器高消耗的原因,以此作为参考内容进行冷凝器节能技术改造的应用,优化冷凝器的运行,体现冷凝器节能改造在汽轮机中的优势。汽轮机冷凝器节能技术改造中,既要有技术支持也要有可行的措施,避免冷凝器节能改造中出现的问题,把控好节能改造技术的应用,完善冷凝器在汽轮机中的运行环境,体现冷凝器节能降耗的实践价值。

### 五、汽轮机冷凝器节能技术改造案例

本文以某热电站的汽轮机冷凝器为分析对象,分析节能技术改造的措施,表明冷凝器节能技术改造后的运行效益。

#### (一) 项目背景

该案例中使用了3台3 MW的汽轮机,因为该热电厂投运时间长,汽轮机中仍旧使用者传统铜光管结构的冷凝器,所以冷凝器会对汽轮机造成能耗影响,该案例中针对冷凝器提出了节能技术改造的要求<sup>[5]</sup>。案例中分析了铜光管结构冷凝器的弊端,总结为:

##### 1. 换热效率低

该热电厂冷凝器的真空度低，导致冷凝器经常处在不满负荷的运行状态中，无法在规定的工作负荷下达到标准的热交换状态，产生换热效率差的问题。

2. 抗结垢能力低

冷凝器中使用的铜光管内壁较容易结垢，管内结垢后会影响到换热效率，此时冷凝器能耗增加，还会影响汽轮机的运行效率。

3. 耐腐蚀性能低

铜光管在冷凝器中较容易有腐蚀的情况，增加了冷凝水的硬度，冷凝水硬度超标之后就不能实行回收再利用，引起了水资源浪费。

4. 抗振动能力低

汽轮机工作时有明显的振动，冷凝器与汽轮机连接也会受到振动的影响而出现共振的情况，冷凝器铜光管在振动的影响下会有连接松动、管体渗漏的情况，这也会影响冷凝器的节能效果。

5. 清洁困难

冷凝器铜光管清洁时使用的是胶球清洗技术，此项技术清洁效果低，还容易有卡塞的问题，加重了铜光管清洁的工作压力，是节能技术改造的原因。

6. 成本高

铜金属的价格高，冷凝器中更换铜光管时的成本高，成本也成为冷凝器节能改造的要点，这些弊端影响着冷凝器的节能效益，进而增加了汽轮机的运行能耗。

(二) 节能技术改造方向

该热电厂深入研究了冷凝器在汽轮机中的使用，提出了节能技术改造的方法，重点比对了铜光管、不锈钢光管以及不锈钢波纹管的节能效益<sup>[6]</sup>。冷凝器节能改造时，计算了不同材质管的传热效果，案例中选用了适用于冷凝器的Hsn70-1A铜光管、不锈钢光管以及螺纹深0.8 mm、螺距10 mm的不锈钢波纹管分析，数据计算中选用了冷凝器原始参数，即蒸汽负荷260 t/h (72.22 kg/s)、冷凝器压力4.9 kPa、冷凝器冷却水的进口温度20℃及出口温度28℃、冷凝管管内水的流速2 m/s，计算后得出，不锈钢波纹管的总传热效率比不锈钢光管高15%，比铜光管高24%，经过多方面的研究决定使用不锈钢波纹管（如下图2所示）代替冷凝器的铜光管，以此来提高冷凝器的节能效益。



图2 不锈钢波纹管

(三) 节能技术改造效果

热电厂改造了汽轮机冷凝器，更换了冷凝器中的铜光管，全部更换为不锈钢波纹管管，运行了1年后，分析冷凝

器不锈钢波纹管技术改造的节能表现。

### 1. 换热效率改造效果

汽轮机冷凝器换热效率最能表现出节能技术改造的效果, 换热效率改造效果分析时分为四个方面, 分别是不锈钢波纹管管壁导热换热效果、不锈钢波纹管管外凝结换热效果、内部对流换热效果。

管壁导热换热节能改造中, 主要是排除传热阻力的影响, 在冷凝器两侧流体热阻偏大的位置实行强化传热控制, 通过增强传热的方式降低热阻的影响, 不锈钢波纹管使用后可以明显的降低冷凝器中污垢热阻、凝结放热热阻以及对流放热热阻的影响<sup>[7]</sup>, 运行现场直接检验不锈钢波纹管的传热数据, 计算后发现不锈钢波纹管传热系数比原有的铜光管最少高出22%。

凝结换热节能改造中要最大程度的减少蒸汽和冷凝器管内冷却壁的热阻, 铜光管或者不锈钢光管的管内壁为平面, 蒸汽附着在管内壁上张力极小, 致使蒸汽与管内壁产生膜状热阻, 而不锈钢波纹管中波纹的作用下蒸汽为环状附着, 凝结膜非常薄, 还会有膜扰动的条件, 增加了换热面积, 波纹管凝结换热的效率比铜光管高80%左右。

管内对流换热节能改造分析中, 不锈钢波纹管在冷凝器中提供了螺旋流与边界流条件, 有助于介质对流, 避免管内壁有干燥的情况, 在此条件下就可以增强管内换热的能力。

### 2. 抗结垢能力改造效果

该案例运行1年中冷凝器不锈钢波纹管无结垢现象, 抗结垢能力非常好, 节能改造效果明显。冷凝器不锈钢波纹管不结垢的原因是: 不锈钢波纹管内的循环水在波纹的作用下边界分离的现象, 管壁底部没有低速流层, 不会出现结垢附着的情况, 而且污垢与管道热膨胀系数有差别, 致使污垢不能贴在管壁上, 即使有污垢也会在循环水的高速流动下排出。

### 3. 耐腐蚀性能改造效果

不锈钢管材料的耐腐蚀性能较好, 冷凝器中使用的铜光管在空冷区经常受到氨气的腐蚀, 再加上O<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>等非凝结气体的干扰, 增加了铜光管腐蚀的速度<sup>[8]</sup>, 而不锈钢管具有耐氨气腐蚀的能力, 再加上不锈钢管的硬度、强度优势, 提高了冷凝器的耐腐蚀性能, 该案例中冷凝器不锈钢波纹管改造运行1年中, 基本无腐蚀问题发生。

### 4. 抗振动能力改造效果

冷凝器振动破坏主要来源于汽轮机, 更换不锈钢波纹管后可以发现, 不锈钢波纹管的弹性模量高, 其可容纳汽轮机产生的振动而本身不会有振动的问题, 有明显的节能效果。

### 5. 清洁维护改造效果

冷凝器不锈钢波纹管内壁表面的光洁度好, 适用于各种类型的清洁方法, 如机械清洗、高压水洗等, 清洁维护操作简单, 不会出现损坏的问题, 有助于提高冷凝器的节能效果。

### 6. 改造后成本效益

该案例冷凝器节能技术改造的成本效益体现在两个方面, 分别是:

#### (1) 用量少

该案例中更换了不锈钢波纹管后发现用量仅为铜光管的3/5, 投入的成本受到控制<sup>[9]</sup>。

#### (2) 寿命高

不锈钢波纹管使用寿命为铜光管的3倍, 1年运行中不锈钢波纹管的成本投入量是3.4万元, 为铜光管的10%。

## 六、汽轮机冷凝器节能技术措施

汽轮机冷凝器节能技术改造中包含几类具有实践价值的措施, 上文中分析了改造技术方案, 本文提供几点节能技术措施, 表明冷凝器节能技术改造的可行性。

### (一) 实行蒸汽余热再利用

汽轮机冷凝器节能技术措施中实行蒸汽余热再利用, 蒸汽余热中含有的热量如果不加以利用, 同样会造成余热浪费, 不利于冷凝器的节能改造<sup>[10]</sup>。例如: 汽轮机冷凝器中的蒸汽余热应用到发电系统的余热发电设备上, 也就是改造冷凝器, 实现蒸汽余热及水汽的回收再利用, 符合节能减排、回收再利用的发展要求, 节能技术改造措施中配合冷凝器使用膨胀机, 回收汽轮机中的蒸汽余热并重新应用到设备发电上, 冷凝器的上部收集由膨胀机排出的低温蒸汽, 下端排出液体, 冷凝器上还需安装抽真空系统, 用于维持冷凝过程中的真空度, 这样才能保障蒸汽余热回收的高效性,

最大程度的降低热损失。

(二) 控制冷凝器运行压力

汽轮机冷凝器的节能技术改造措施分析中发现，冷凝器的冷凝压力控制好能够提高制冷量，保证冷凝器的工作效率。如下图3分析所示，冷凝器的冷凝压力是1.07 Mpa时，冷凝温度为30℃，制冷量是2850 kW，当冷凝器的冷凝压力是1.46 Mpa时，冷凝温度为40℃，制冷量是2600 kW，由此可以说明，冷凝器的冷凝压力越低，制冷量的产出值越高，有助于提高冷凝器的节能效果，汽轮机工作过程中就要在保证安全的前提下控制好冷凝压力，做到节能降耗。

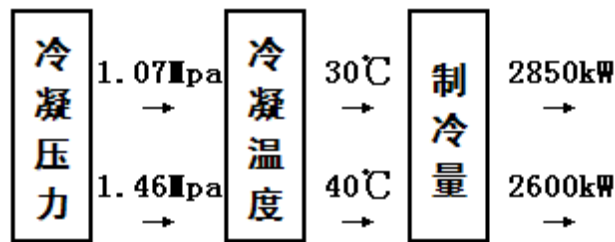


图3 冷凝压力与制冷量的关系图

(三) 有效降低冷凝的温度

汽轮机工作中产生的蒸汽温度数值一定时，冷凝器的温度越高，制冷模块消耗功率也就越大，单位数值中的制冷量就会偏低，在冷凝器节能改造措施中有效降低冷凝的温度，比如增加冷却风量或者是增加冷却水量，在这种条件下降低冷凝的温度，就可以提高制冷的效率，保证冷凝器处于高效的工作状态，进而实现节能运行。

(四) 合理实行除垢与清洁

汽轮机冷凝器经改造后虽然除垢和清洁的需求较小，但是也要组织除垢与清洁工作，因为除垢和清洁是保障冷凝器高效运行的一项基本因素，所以冷凝器运行管理中需合理的组织除垢与清洁，避免水垢和油污引起冷凝温度升高，保持冷凝器的清洁性，提高冷凝器在汽轮机中的节能效果。

七、结束语

汽轮机冷凝器节能技术改造分析中总结了改造的方法，冷凝器节能技术改造后有着较高的经济效益和社会效益，实现了利益的最大化。冷凝器节能技术改造后更适用于汽轮机的运行，降低了汽轮机运行过程中的环境污染，并且提高汽轮机的工作效率。冷凝器中节能技术改造有着实践性的优势，其可调整冷凝器的运行方式，改进冷凝器在汽轮机中的工作方式。

参考文献：

- [1]高敏.浅谈汽轮机冷凝器节能技术改造[J].装备维修技术, 2019(03):191.
- [2]王政,刘浩,刘玉桥.丁烷分离塔热泵精馏节能改造研究[J].精细与专用化学品, 2019,27(03):24-26.
- [3]刘帅,高兴,张金徽.大连某医院空调系统能耗分析与节能改造[J].制冷, 2019,38(01):70-74.
- [4]黄贇,丁聪.通信机房风冷空调节能改造[J].电信工程技术与标准化, 2018,31(04):54-57.
- [5]富洪志,高志学,肖国枝.PET装置工艺塔废水冷凝器系统节能改造[J].聚酯工业, 2018,31(01):42-44.
- [6]梁贲,韩利平.蒸发冷却冷凝器在通信机房空调节能改造中的应用[J].现代工业经济和信息化, 2016,6(12):24-26.
- [7].冷凝器脱盐水改造节能减排[J].盐业与化工, 2015,44(01):36.
- [8]宋立敏,左俊青,杨向东,唐文骞.精馏塔顶冷凝器的节能改造[J].氮肥技术, 2012,33(05):32-33+36.
- [9]何德辉,赵芳,林浩斌.某机房风冷空调的节能改造——风冷节能装置的应用[J].价值工程, 2012,31(10):16-17.
- [10]邵省平.精密空调冷凝器改造节能效果分析[J].电信技术, 2012(02):52-53.