

## Selection and Analysis of Cold End Mode of Waste Heat Power Generation System

Mengxu ZHAI<sup>1,2</sup>, Hong ZHANG<sup>1,2</sup>, Xinjian WANG<sup>1,2</sup>

1.CITIC Heavy Industry Machinery Co., Ltd., Luoyang, Henan, 471003

2.CITIC Heavy Industry Technology Co., Ltd., Luoyang, Henan, 471003

### Abstract

There are two main ways of cooling the cold end of waste heat power generation system: water cooling and air cooling. This paper introduces the working principle of wet cooling and air cooling, and focuses on two common air cooling technologies: direct air cooling technology and composite air cooling technology. The different cooling modes are analyzed and compared in terms of investment and operation economy, and their application scope is distinguished, which can provide reference for the selection of cold end modes in waste heat power generation projects.

### Key Words

Waste Heat Power Generation, Wet Cooling System, Direct Air Cooling, Composite Air Cooling Technology

DOI:10.18686/dljisyj.v1i2.383

## 余热发电系统冷端方式选择分析

翟梦旭<sup>1,2</sup>, 张宏<sup>1,2</sup>, 王新建<sup>1,2</sup>

1.中信重工机械股份有限公司, 河南 洛阳 471003

2.中信重工工程技术有限责任公司, 河南 洛阳471003

### 摘要

余热发电系统冷端冷却主要有水冷和空冷两种方式, 本文介绍了湿冷和空冷的工作原理, 重点介绍两种常见的空冷技术: 直接空冷技术和复合空冷技术的技术原理。并从投资运行经济性上对不同冷却方式进行分析比较, 区分其适用范围, 为余热发电工程冷端方式的选择提供参考。

### 关键词

余热发电; 湿冷系统; 直接空冷; 复合空冷技术

### 1.引言

工业余热发电技术在提高能源的综合利用效率、降低企业生产成本、保护大气环境等方面扮演着重要的角色。同时在国家政策的鼓励和技术支持下, 工业余热发电技术作为一种新型发电技术得到广泛推广和使用, 同时带来巨大的经济效益和环境效益。

根据汽轮机凝汽器设备的冷却方式不同主要分为湿式冷却系统水冷系统和空气冷却系统两种。在直接空冷系统基础上发展出带有尖峰冷却的复合空冷系统。空冷技术较湿冷技术, 有效地节约了水资源, 但是系统热效率较低、初投资较高且占地面积也较大, 因此空冷技术一般应用在水资源匮乏的地区。本文主要对空冷系统

和湿冷系统进行分析比较。

### 2.湿冷系统介绍

水冷却式凝汽器又称表面式凝汽器, 是最为常见的一种凝汽器。水冷是凝汽器采用水作为冷却工质, 凝汽器的传热系数高, 又能在保持清洁、含氧量极小的凝结水的条件下获得并保持一定的真空, 因此是现在电站汽轮机装置中采用的主要形式。图1为湿冷系统工艺流程简图。

常规湿冷机组是采用自然通风冷却塔型式, 以水为冷却介质, 其中循环损失包括蒸发损失、风吹损失和排污损失约占电厂耗水量的80%。其中仅循环冷却塔的水

损失约占全厂生产含水量的70%。所以湿冷冷却方式的耗水量大,主要应用在水源充足的地方,在水源匮乏地区不适用。

湿冷系统分为开式冷却系统和闭式冷却系统。开式冷却系统是以江河湖海的水作为冷却水;冷却水在凝汽器与冷却塔之间进行循环的冷却方式为闭式循环冷却系统。在水资源相对充沛的地区多采用开式循环冷却方式,开式循环冷却系统在夏季高温期,排水温度较高,易对环境产生热污染,破坏生态环境。在水资源不是很充足的地区多采用闭式冷却,闭式冷却系统的冷却水表面蒸发和排污约占全场耗水量的以上,消耗大量水资源。

### 3.空冷系统介绍

#### 3.1直接空冷技术

直接空冷系统是将汽机排汽直接用空气进行冷却

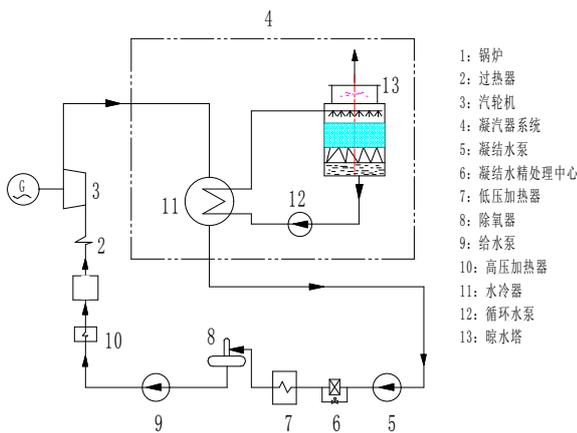


图1 湿冷系统工艺流程简图

直接空冷技术较常规水冷技术,耗水量小,能够节约大量的水资源,在缺水严重的地区有很强的节水优势;另外直接空冷系统简单,易于控制。但是空冷岛体积庞大,占地面积很大;受到季节气温的变化,冬季和夏季的冷凝背压差异很大,容易使得夏季汽轮机出力不足;厂自用电量较高,耗电量约占发电量的2%~5%;轴流风机噪声较大;此外,一次投资成本高,较水冷高1~2倍。

#### 3.2复合空冷技术

直接空冷系统在初期设计及后期运行都比传统的

的方式,蒸汽与空气之间进行热交换,没有循环水系统,汽轮机排汽进入空冷岛管束,空气冲刷凝结管束,空气与排汽进行热交换,冷凝成凝结水。所需冷却空气,通常由机械通风方式供应。图2为直接空冷系统工艺流程简图。直接空冷系统所用的空冷凝汽器是由若干个管束组成。与其他方式的空冷系统相比较具有初始温差大、设备少、系统简单、空气量调节灵活等优点。该系统的缺点是:是一次性投资大、运行耗水量小,发电量低。直接空冷系统(ACC)是我国西北、华北等地区主要的汽轮机凝器设备。其主要特点有:

- 1) 安全性: 夏季容易受环境高温及大风影响,冬季防冻问题突出;
- 2) 经济性: 运行背压高、能耗大,机组出力受限;
- 3) 厂用电: 空冷轴流风机数量多,生产厂用电率高;
- 4) 其他: 设备投资高,占地大;

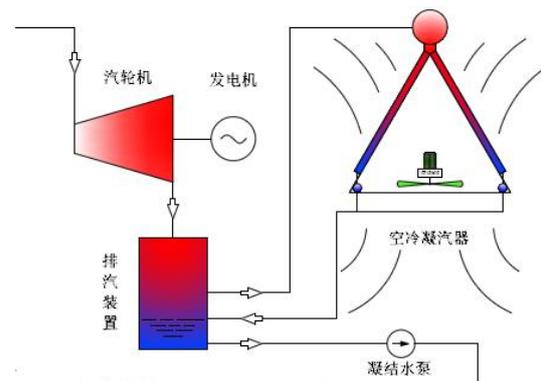


图2 直接空冷系统工艺流程简图

凝汽方式面临诸多问题,针对这些问题,在传统的直接空冷系统流程上增设蒸发式凝汽器,以直接空冷系统为主要运行方式,蒸发式凝汽器为夏季高温时段降低背压的优化措施,如下图所示。蒸发式凝汽器是替代水冷式凝汽器的理想换代产品,它与水冷式凝汽器最大的区别在于:蒸发式凝汽器采用水膜蒸发潜热冷凝蒸汽,冷却循环水量仅为水冷式凝汽器的30%左右,耗水量较水冷式凝汽器减少30~40%,具有节水、节能优势,夏季运行背压可较水冷式低。复合型空冷系统是将传统直接空冷凝汽器中的部分管束由空冷换热改为蒸发换热,以空冷换热为主,蒸发换热为保证背压的补充措施。

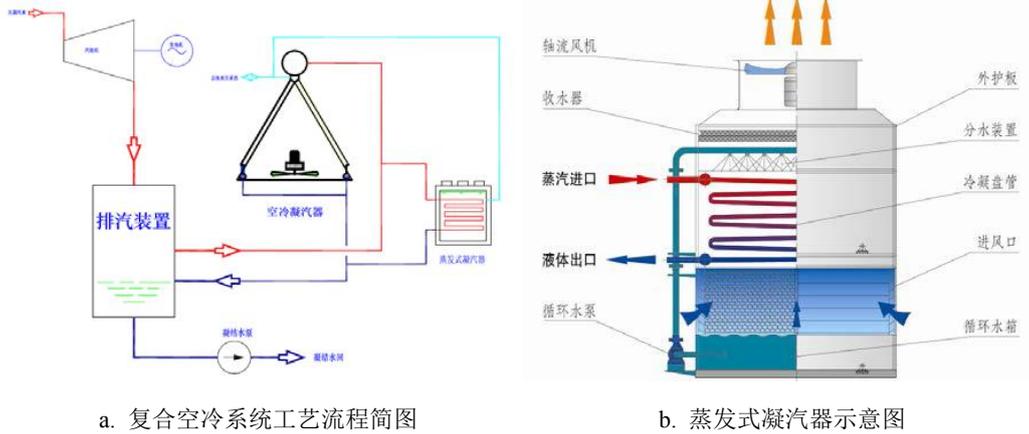


图2 复合空冷系统

高效复合型空冷凝汽器是直接空冷凝汽器与蒸发式凝汽器优化组合的一种新型高效凝汽装置,根据机组使用条件匹配相应数量的蒸发式凝汽器。当夏季气温较高,机组不能满发时启动蒸发式凝汽器,与空冷凝汽器联合运行,蒸发换热为保证背压和机组夏季出力的补充措施。夏季蒸发式凝汽器做为尖峰冷却降背压增机组出力的装置,可将汽轮机排汽压力下降10~15KPa左右,夏季机组可额定或超额出力,起到夏季尖峰冷却作用;春、秋、冬季节蒸发式凝汽器关闭,仅留空冷凝汽器运行。复合型空冷凝汽系统和直接空冷系统都是成熟可靠的技术,且目前应用较为广泛。复合型空冷凝汽系统设备占地小,运行费用低,系统夏季运行稳定性高;从技术经济比较,复合型空冷凝汽系统在年总费用上也有较大的优势:

(1) 系统在夏季高温天气运行,增强汽轮机冷端散热能力,降低排汽压力,提高发电量,弥补空气换热受环境温度影响的缺陷,提高机组经济性。

(2) 系统在大风环境下运行时,避免直接空冷风机受横向大风影响导致的风机供风不足,保证机组安全性。

(3) 蒸发式凝汽器独特的产品结构及换热原理使其可以使用工业、生活废水,提高水资源的利用率。

#### 4.投资及运行经济性分析比较

以某12MW 电站为例,对分别采用湿冷系统、直接空冷和复合空冷系统的投资、运行费用进行分析比较如下:

(1) 湿冷系统:

1) 冷却循环水量

序号	冷却设备名称	凝汽量t/h	循环水量 m <sup>3</sup> /h		备注
			夏季m=65	冬季m=50	
1	冷凝器	56	3640	2800	
2	辅机循环水量		182	182	
3	总计		3822	2982	

2) 冷却循环水系统用水量

序号	用水项目	用水量m <sup>3</sup> /h		总用水量(万m <sup>3</sup> /年)	备注
		夏季	冬季		
1	冷却塔蒸发损失	38.22	29.82	26.796	占循环水量1.0%
2	冷却塔风吹损失	7.64	5.96	5.356	占循环水量0.2%
3	冷却塔排污损失	15.29	11.93	10.72	占循环水量0.4%
4	总计	61.15	47.71	42.872	按循环水量1.6%

### 3) 经济性分析

设备投资: 470万元

运行费用: 耗电: 117万元; 耗水: 63.94万元。每年总运行费用: 117万元+63.94万元=180.94万元

每年发电收益: 按每度0.6元计算, 12000 KW × 8000小时 × 0.6元/千瓦时 = 5760万元

#### (2) 直接空冷系统:

设备投资: 790万元

运行费用: 耗电: 91.52万元; 耗水: 0万元。每年总运行费用: 91.52万元+0万元=91.52万元。

每年发电收益: 按每度0.6元计算12000 KW × 8000小时 × 0.6元/千瓦时 = 5760万元

#### (3) 复合空冷系统:

##### 1) 循环水量

序号	用水项目	用水量 m <sup>3</sup> /h	备注
1	系统蒸发损失	8.22	
2	系统风吹损失	1.03	按循环水量0.15%
3	系统排污损失	2.06	按循环水量0.3%
4	总计	11.29	

年利用按夏季三个月计, 每天10小时, 蒸发冷却循环系统年用水量为1.1万 m<sup>3</sup>。

### 2) 经济性分析

投资: 720万元

运行费用: 耗电: 67.392万元; 耗水: 2.2万元。每

年总运行费用: 67.392万元+2.2万元=69.592万元

每年发电收益: 按每度0.6元计算12000 KW × 8000小时 × 0.6元/千瓦时 = 5760万元

直接空冷系统和复合空冷系统对比分析汇总表如下:

序号	项目	湿冷系统	直接空冷系统	复合空冷系统
1	投资	470万元	790万元	720万元
2	耗电运行费用	117万元/年	91.52万元/年	67.392万元/年
3	耗水运行费用	63.94万元/年	0万元/年	2.2万元/年
4	发电收益	5760万元/年	5760万元/年	5760万元/年

综上所述, 相比较空冷系统, 湿冷系统设备投资较少, 但年运行费用较高; 直接空冷系统的设备投资比复合空冷系统设备投资高, 且年运行费用高。相较直接空冷系统, 复合空冷系统拥有可降低投资, 设备投资低, 占地小、年运行费用少等优势。

## 5. 结论

凝汽设备的工作性能会直接影响整个汽轮机组的热经济性和安全性, 是凝汽汽轮机组的一个重要组成部分。凝汽设备的选择直接影响到汽轮机的热效率。相比于空冷系统, 湿冷系统受环境干球温度以及风向的影响较小; 直接空冷系统受环境干球温度影响, 环境温度升高时凝结温度骤升, 当环境风速升高时, 鼓风机出力下降, 直接影响设备换热性能; 复合空冷系统因潜

热换热原理不受环境干球温度的影响, 环境温度升高时依然保持较低的凝结温度, 由于蒸发式凝汽器风机采用引风式, 对环境横向风的影响较小。

湿冷系统适用于水资源充足地区, 由于空冷机组没有蒸发汽雾、循环水排污, 不仅减少了对环境的影响, 同时节约大量的水资源, 空冷系统适用于水资源不足地区。在直接空冷系统上发展出来的复合空冷系统由于采用高效的潜热换热原理与显热换热原理相结合, 实现高效、节水、节能的目的。

## 参考文献

- [1] 苏子威, 周涛, 邹文重. 电厂空冷与湿冷机组的经济性比较分析[D]., 2012.
- [2] 侯宾才, 方明, 王朝雄, 等. 复合空冷技术在水泥

窑余热发电工程的应用[J]. 中国水泥, 2013 (2): 78-80.

[3] 王永艳, 郭民臣, 任德斐. 直接空冷与湿冷机组经济性比较 [J][D]., 2010.

[4] 赵维忠. 空冷凝汽系统尖峰冷却装置应用现状 [J][J]. 电网与清洁能源, 2014, 30(7): 6-11.

[5] 李永华, 许宁, 杨海生, 等. 直接空冷尖峰冷却系统改造及性能分析 [J]. 汽轮机技术, 2016, 58(2): 143-145.