

在特定工业供汽参数下压汽机设备使用探讨

杨涛

国能宁夏六盘山能源发电有限公司

DOI:10.12238/etd.v6i3.14401

[摘要] 本文以宁夏某火电厂 $2\times 1000\text{MW}$ 高效超超临界燃煤机组为例,针对特定工业供汽参数,分析研究了采用不同品质蒸汽对外供汽的方案,并分析三种设计方案对机组发电热耗的影响,以及投资回收率等。研究说明采用低压蒸汽+工业压汽机加压对外供汽,在机组平均发电热耗有一定的优势和较高的节能收益。对同类工业供汽工程利用压汽机设备有一定参考价值。

[关键词] 背压机; 压汽机; 工业供汽

中图分类号: F4 **文献标识码:** A

Exploration into the Use of Pressure Turbine Equipment under Specific Industrial Steam Supply Parameters

Tao Yang

Guoneng Ningxia Liupanshan Energy Power Generation Co., Ltd

[Abstract] This article takes a $2\times 1000\text{MW}$ high-efficiency ultra supercritical coal-fired unit in a thermal power plant in Ningxia as an example. Based on specific industrial steam supply parameters, different quality steam supply schemes are analyzed and studied, and the impact of three design schemes on the unit's power generation heat consumption and investment recovery rate are analyzed. Research has shown that using low-pressure steam and industrial pressure turbines for external steam supply has certain advantages and higher energy-saving benefits in terms of average power generation heat consumption of the unit. The use of pressure turbine equipment has certain reference value for similar industrial steam supply projects.

[Key words] back pressure machine; Pressure turbine; Industrial steam supply

1 绪论

宁夏某火电厂 $2\times 1000\text{MW}$ 高效超超临界燃煤机组响应国家能源综合利用的政策,立项之初就兼顾向市区供热和向园区化工企业供汽,中压供汽 1.8MPa , 280°C , 75.4t/h ,低压供汽 0.8MPa , 200°C , 287.5t/h 。常规工业供汽方案是高温高压蒸汽减温减压后外供,为了利用高品质热能,电力企业一般采用高温高压蒸汽+背压机方案,来提高发电厂发电能力达到机组能源利用效率。

经市场调研工业压汽机设备日趋成熟,沈鼓集团股份有限公司^[1]、陕西鼓风机集团生产投用小功率压汽机($\leq 10\text{MW}$)设备众多。东方汽轮机厂已有 20MW 压汽机的研发业绩^[3]。采用低压蒸汽+压汽机对外供汽成为一项可选方案。

综上,本文针对低压供汽(0.8MPa , 200°C , 287.5t/h)采取以下三种技术方案:热段抽汽+背压机方案,中排抽汽+汽驱压汽机方案,中排抽汽+电驱压汽机方案。为了选择出能效指标最优、投资回收最高的方案,本文对此进行了详细的分析研究。

2 工业供汽技术路线方案概述

采用常规热段抽汽+背压机方案,背压发电机组可以进行能源

梯级利用。利用高品质蒸汽拖动背压汽轮发电机组发电,低参数的排汽外供,发电机发出的电为厂用系统提供电源,从而降低厂用电,实现供热能源分级利用,提高了高品质蒸汽利用效率。但由于低压工业供汽流量大,供汽时存在中联门深度节流,且由于低压缸最小冷却流量要求,在 30% 电负荷以下工况时,无法满足供汽流量。

采用中排抽汽+压汽机方案,由于本工程向市区供热采用中排抽汽方案,即汽轮机设计之初就具备中排蝶阀调节抽汽能力,且工业供汽量远远小于供热期汽量需求,因而对于大机本身没有直接影响,且大机本身负荷变化对压汽机和驱动设备本身运行参数没有负面影响,运行工况相对稳定且高效。

电驱压汽机^[2]由厂用系统提供电源,导致厂用电升高;汽驱压汽机利用汽轮机抽汽,汽耗增加。由于三种方案均需要润滑油辅助系统、冷却水辅助系统等,除电耗、汽耗外,认为三种方案其他耗能基本相同。

采用发电热耗可以评价三种方案对电耗、汽耗的综合影响,本文从整个系统发相同电功率的方向出发,综合比较不同电功率下三种方案的发电热耗,耦合发电小时数来比较收益。

3 供汽方案技术路线对比

3.1 热段抽汽+背压机方案

工业抽汽取自汽轮机再热汽门前, 额定工况蒸汽参数为 5.9MPa, 620℃, 经过供热背压机做功发电后, 蒸汽参数降为 1.7MPa, 490~500℃。由于排汽温度较高, 再设置一路减温器, 蒸汽减温后温度降至300℃, 可以满足工业供汽要求。

为保障供热安全性和机组深调负荷供热, 设置一路供热背压机旁路减温减压。再热热段蒸汽直接减温减压 1.8MPa, 300℃, 满足供汽要求。

系统两台机公用一套供热背压机系统, 实际运行考虑单台机组带工业负荷。

供汽系统详见下图:

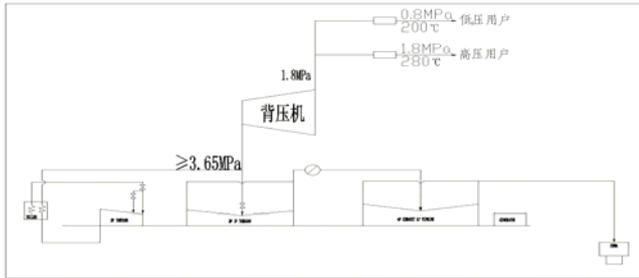


图1 背压机供热系统图

3.2 中排抽汽+汽驱压汽机方案

低压供汽由中排通过压汽机单元匹配下游用汽压力, 考虑下游对低压供汽路的需求为高压低温, 若直接将压汽机排气进行减温, 存在压汽机出口温度高、材料选择困难、换热温差较高等问题。所以将温度分梯度降低, 首先第一梯度将压汽机进汽温度减小, 降低材料选型难度, 保持入口温度约10℃的过热度, 之后送入压缩单元, 伴随压汽机升压耗功, 微观角度上, 压汽机内部工质分子运动活跃, 其温度进一步升高, 之后压汽机将低压供应汽排出, 再一次降温, 最后通过供热首站送入下游用户。采用变转速进行流量调节, 提供了灵活的调节能力, 以适应不同工况的需求。机组功率为25MW等级, 满足了大规模工业用汽的需求。

由于压汽机为耗功装置, 本方案中压汽机动力来源为驱动透平, 即从汽轮机四段抽汽取汽。膨胀后的蒸汽送入凝汽器中, 重新回到汽轮机循环中。此系统与汽轮机连接紧密, 驱动汽轮机及压汽机系统共同匹配主汽轮机运行难度较大。

供汽系统详见下图:

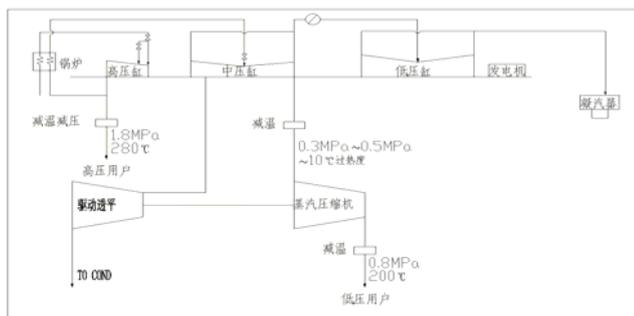


图2 汽驱压汽机供汽系统图

压汽机主要参数:

入口压力/温度: 0.3MPa.a/144℃;

排汽压力/温度: 0.8MPa.a/276℃;

压汽机流量: 270.556t/h;

额定供汽流量: 287.5t/h;

流量调节方式: 变转速;

功率等级: 20MW级;

驱动系统: 汽轮机驱动。

3.3 中排抽汽+电驱压汽机方案

本方案压汽机通过电动机进行驱动, 电动机为变频变转速设计, 以应对变工况需求, 不需从汽轮机中再取汽, 与汽轮机的运行工况变化相互影响最小。可设计压汽机供汽系统为独立系统, 面对汽轮机紧急工况时可快速切除。

电驱压汽机的使用不仅提高了系统的灵活性和效率, 而且由于其能够精确控制压缩比和压力, 因此非常适合于需要精确压力控制的工业应用。供汽系统图和电驱压汽机设备示意图如下:

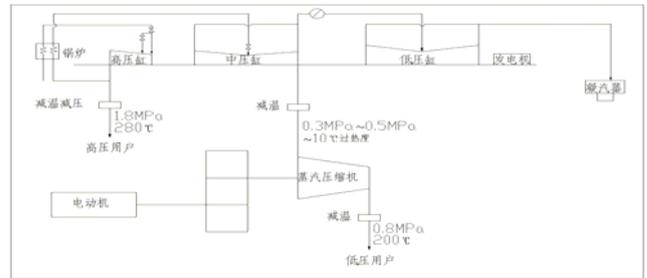


图3 电驱压汽机供汽系统图

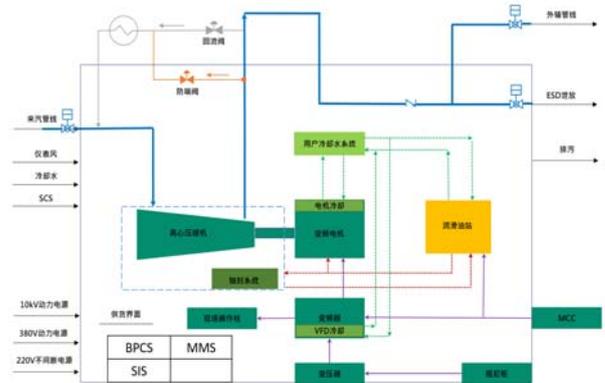


图4 电驱压汽机设备示意图

4 投资及能耗对比

4.1 投资费用

表1 各方案投资费用

项目	单位	背压机	汽驱压汽机	电驱压汽机
总投资	万元	5340	7640	8940
总初投资差	万元	基准	2300	3600

4.2 运行燃料费用比较

根据设备厂提资, 由汽轮机厂核算提供热平衡图, 各方案年运行收益对比如下:

表2 各方案年运行燃料费用

方案	工况	发电热耗	热耗下降	煤耗下降	运行小时	节省标煤	标煤总计	燃料成本
单位		kJ/kw.h	kJ/kw.h	g/kw.h	h	t	t	万元
背压机	100%	8058.2	基准	基准	1600	基准	基准	基准
	75%	8275.2	基准	基准	1600	基准		
	50%	9160.0	基准	基准	1600	基准		
	40%	9800.2	基准	基准	1400	基准		
	30%	10844.9	基准	基准	800	基准		
	20%	12764.9	基准	基准	500	基准		
电驱压汽机	100%	7961.3	-96.9	-3.5	1600	-5626	-25951	-2336
	75%	8186.0	-89.2	-3.2	1600	-3884		
	50%	8954.3	-205.6	-7.5	1600	-5969		
	40%	9537.3	-262.9	-9.5	1400	-5343		
	30%	10469.3	-375.6	-13.6	800	-3271		
	20%	12252.8	-512.1	-18.6	500	-1858		
汽驱压汽机	100%	7968.6	-89.6	-3.3	1600	-5201	-19352	-1742
	75%	8216.2	-59.1	-2.1	1600	-2572		
	50%	9035.3	-124.7	-4.5	1600	-3620		
	40%	9621.5	-178.8	-6.5	1400	-3633		
	30%	10543.5	-301.4	-10.9	800	-2625		
	20%	12296.1	-468.8	-17.0	500	-1701		

说明:

(1) 供汽参数约定: 0.8MPa.a/200℃-287.5t/h、1.8MPa/280℃-75.4t/h;

(2) 热平衡图计算基准为满足对外供汽完全等同于约定参数, 减温水按凝结水泵出口接出; 负荷基准为满足供汽后对外净输出电量各工况分别一致, 净出力电负荷点为100%。

4.3 技术经济比较

根据以上技术分析数据, 按现行年实际贷款利率 $I=4.3\%$, 偿还年限 $n=18$ 年, 资金回收系数 $N=(1+I)^n \times I / ((1+I)^n - 1) = 0.0809$, 进行经济分析, 各方案机组的综合经济性对比见下表:

表3 各方案综合经济性比较表

项目	单位	背压机	汽驱压汽机	电驱压汽机
总初投资	万元	5340	7640	8940
总初投资差	万元	基准	2300	3600
总初投资折算年分摊费用差值	万元/年	基准	186	291
运行燃料费用差	万元/年	基准	-1742	-2336
年收益	万元/年	基准	1556	2045

5 各方案综合分析

5.1 各方案适用性分析

(1) 背压机方案由于中联门深度节流, 中联门阀碟前后压差较大, 导致中联门油动机出力增加, 在30%电负荷以下工况时, 供热困难, 若需要在深度低负荷供汽; 但是热段抽汽背压机方案热负荷适应性较好。如果供热参数发生变化, 对供热方案影响较小。

(2) 对于汽驱蒸汽压汽机方案, 由于抽口流速限制, 四抽在满足各工况蒸汽压汽机驱动透平用汽的情况下, 还可以抽取 $\sim 40t/h$ 蒸汽作为厂用辅助蒸汽, 无法满足主机 $100t/h$ 的厂用汽需求。

(3) 对于电驱蒸汽压汽机方案, 由于大机本身具备中排蝶阀调节抽汽能力, 且工业供汽量远远小于供热期汽量需求, 因而对于大机本身没有直接影响, 且大机本身负荷变化对压汽机和驱动设备本身运行参数没有负面影响, 蒸汽压汽机和驱动电动机运行工况相对稳定且高效; 但厂用电率相对于汽驱蒸汽压汽机方案有所增加, 由于驱动透平效率低于主机低压缸, 因而总体经济性本方案更优, 机组最大对外供电能力优于汽驱方案, 同时在低负荷或高背压情况下, 本方案低压缸排汽流量大于汽驱方案, 更有利于提高机组经济性和安全性。

5.2 各方案技术经济分析

5.2.1 技术分析

从相关数据对比可以看出, 对于同时满足对外供汽和相同

净发电情况下,电驱蒸汽压汽机方案在运行经济性具有明显的优势,汽驱蒸汽压汽机方案经济性次之,背压机方案热耗相对来说最高,主要原因在于:

(1)背压机方案由于汽源采用主机再热热段蒸汽,背压机排汽温度相对很高,存在大量的喷水减温量,不可逆损失严重,对经济性造成了相应影响;背压机方案在主机75%负荷以下,主机中联门开始调节,从而影响主机的中压缸效率,因而经济性也受到相应影响;为了兼顾供汽压力,背压机用汽相对来说膨胀不充分,存在较大的节流损失,进一步影响了经济性。

(2)对于汽驱蒸汽压汽机方案,由于主机负荷降低时,蒸汽压汽机驱动透平进汽压力随之降低,而驱动透平出力相对来说基本不变,因而其本体需要有较大的进汽量调节能力,相对来说,在现有给水泵驱动透平的基础上,需要进行相应的优化设计;同时,由于驱动透平用汽,减少了进入主机低压缸的蒸汽流量,从而在主机低负荷运行时,蝶阀开度相较于电驱蒸汽压汽机方案减小,影响了主机低压缸效率,因而相对来说,汽驱蒸汽压汽机方案热耗略高于相同负荷下电驱蒸汽压汽机方案。

(3)电驱蒸汽压汽机方案,在最大程度上减少了主机抽汽与供汽参数之间的差异,相对来说,喷水减温量少,系统不可逆损失小,同时,只在低负荷为了维持基本运行,最小程度的用蝶阀进行相应调节,尽可能的减小了主机运行中的节流调节损失,因而相对来说,经济性最优。

5.2.2经济分析

热段抽汽背压机方案初投资最低,热负荷适应性较好。如果供热参数发生变化,对供热方案影响较小,但是经济性最差。

中排抽汽+汽驱压汽机增压供汽方案初投资比方案1高2300万元,比方案3投资低1300万元。实际运行年收益比方案1多1556万元。

中排抽汽+电驱压汽机增压供汽方案技术经济性最优。虽然厂用电率有所增加,且驱动装置投资略高,初投资高3600万元,但实际运行年收益多2045万元,为三个方案中综合收益最高。

6 结论

蒸汽压汽机是一种热泵技术,从较低压力的热源通过压缩

过程将其提升至更高的压力,从而提供可用于工业、商业或住宅用途的热能。这种技术在能源高效利用和环境影响方面具有显著的社会效益。

由于汽轮发电机组本身负荷变化对压缩机和驱动设备本身运行参数没有负面影响,蒸汽压缩机和驱动电动机运行工况相对稳定,电驱压缩机相较于抽汽背压机供热可以减少对化石能源的需求,节能减排,在汽轮机低负荷运行阶段供汽能力更强,减少对下游用户的影响。

蒸汽压汽机汽源相比于传统汽轮机供热汽源更为灵活,且压汽机本身的宽负荷变工况运行能更好的适应下游用汽需求,推动产业升级,为汽轮机发电机组提供更高效、更经济的运行方式。

此外,对于本项目供汽压汽机方案需要在以下两个方面提升安全可靠工作:

一是热负荷相对当前方案发生变化时,可以根据实际情况进行详细评估,采取压汽机变工况调节运行或更新压汽机方案,维持压汽机高效供汽运行。

二是系统应考虑压汽机入口设置喷水减温器和汽水分离装置,以避免液滴冲击压汽机。

压汽机方案理论上完全可行,虽然有工程实施项目,但目前还没有大功率压汽机投入运行,所以存在一定风险。背压机方案比较成熟,但是热段高参数背压机目前也没有实际运行的工程。

[参考文献]

[1]陈胜伟.大型空分离心压缩机组研制[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术2024(3):78-82.

[2]徐忠主编.离心式压缩机原理[M].北京:机械工业出版社,1990.

[3]东方电气集团东方汽轮机有限公司.一种包含背压机拖动压缩机的能源梯级利用热电解耦供汽系统[P].中国专利,CN20242102621.4.12024-12-10.

作者简介:

杨涛(1985-),男,汉族,甘肃省白银市人,工程师,本科,研究方向为:电力节能、电厂运行、节能优化等方面。