

新型储换热系统在热电联产电厂灵活性改造中的应用

肖欣悦, 奚正稳, 罗银恒

(东方电气集团东方锅炉股份有限公司, 四川 自贡 643001)

摘要:为提升热电联产机组调峰能力,同时提供稳定参数蒸汽,满足对外供热需求,提出一种全新的混凝土储热换热系统,介绍了典型应用案例的系统参数设计方法,通过系统模块的实际工程应用,证明该系统可以实现机组的“热电解耦”,提高机组的运行灵活性,为电厂带来“增加调峰补贴”与“工业供汽”的双重收益。

关键词:热电联产;储热换热;热电解耦;灵活性改造;工业供汽

中图分类号: TM621 **文献标志码:** B **文章编号:** 1001-9898(2021)02-0044-03

Application of New-type Heat Storage and Exchange System in Flexibility Retrofit of Combined Heat and Power Plant

XIAO Xinyue, XI Zhengwen, LUO Yinheng

(Dongfang Electric Group Dongfang Boiler Co., Ltd., Zigong 643001, China)

Abstract: To promote the peak-shaving ability of combined heat and power plants, meanwhile provide stable steam to satisfy the steam supply demand, brand new concrete heat storage and exchange system has been designed. The system parameter design method of a typical application case is introduced. The system modules all have practical engineering applications. Thus proved the application of this system can realize the thermoelectric decoupling and enhance the operation flexibility of the unit. Thus can increase the income of peak-shaving subsidies and industrial steam sell for the power station.

Key words: combined heat and power generation; heat storage and exchange; thermoelectric decoupling; flexibility retrofit; industrial steam providing

随着我国可再生能源产业的迅速发展,风电、光伏等新能源发电装机容量快速增长。然而在“三北”地区,热电联产机组比重大,受燃煤机组自身性能和“以热定电”运行方式限制,导致燃煤机组在供热季的电力输出调节能力不能满足电网调度要求,造成大规模弃风、弃光问题严重^[1-3]。因此,提高火电机组运行灵活性,挖掘其深度调峰能力,提升电网对新能源发电大规模并网的消纳能力,是实现国家能源绿色转型的必由之路。

1 新型储换热系统的提出

将储热技术与燃煤机组进行结合可以实现机组的“热电解耦”。当电网用电负荷高于供热负荷时,将机组多余的热量进行储存;当电力负荷低于供热负荷时,储热系统释放额外热量满足供热需求,从而降低供热高峰期的机组发电量,使燃煤机

组在满足供热要求的同时实现深度调峰功能。目前在热电机组灵活性改造中应用较多的储热技术是将蓄热水罐和固体蓄热与电锅炉配合应用。电锅炉将低谷电或多余电量通过电热转换的方式将能量转移到热水或固体材料中,这种转变是将高品质的电能转换成低品质热能,能效低下,经济性较差^[4],而且蓄热水罐与固体蓄热通常只能用于提供热水(温度低于 100 ℃)供热,在参数更高的工业用汽(温度高于 180 ℃的过热蒸汽)领域的应用较少。

为实现机组“热电解耦”,满足热电机组工业供汽实际要求,同时提高能量转换效率和能源利用率,本文设计了一种全新的可用于热电机组灵活性改造的储热换热系统。该系统将机组供热低谷时段多余的热量储存起来,用于供热高峰时段补充供汽缺口,可有效解决热电联产电厂供汽峰

收稿日期:2020-05-09

作者简介:肖欣悦(1989—),女,工程师,主要从事太阳能光热发电技术、储能技术的系统设计及研发工作。

谷矛盾,降低供热高峰期的机组发电量,并为用户
提供稳定参数的过热蒸汽。

2 新型储换热系统的运行方式

新型储换热系统的设备或部件包括:混凝土
储热模块、导热油储罐、导热油缓冲罐、预热器、蒸
发器(带汽包)、过热器、导热油泵、水泵和必要的
管道、阀门、仪表等。系统主要构成见图1。

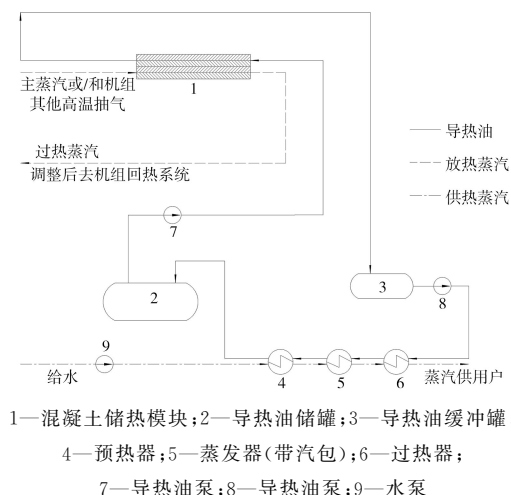


图1 储换热系统示意

在新型储换热系统中,机组热量富余时的储
热阶段,将降压处理后的机组富余主蒸汽以及其
他高温抽汽引入混凝土储热模块内,将热量传递
给混凝土并储存,混凝土内部平均温度逐渐升高。
随着储热过程的进行,对混凝土放热后的蒸汽温
度逐渐升高,该蒸汽根据系统要求进行处理后回
收至机组回热系统或其他用热单元,实现了热量
的梯级利用,减少能量浪费。机组高温蒸汽先进
行降压处理的目的,是使其在储热过程中始终保
持过热状态,避免由于蒸汽在混凝土金属管内凝
结,导致后续放热过程中导热油内混入水从而影
响换热,保证系统安全性及运行性能。

在用热高峰的系统放热时段,低温导热油由
导热油储罐通过导热油泵输送进入混凝土储热模
块的换热管中吸收混凝土热量,升温后的导热油
进入缓冲罐后由导热油泵输送至蒸汽发生系统,
依次通过过热器、蒸发器、预热器将热量传递给
常温水,放热后的导热油回到导热油储罐中进行
下一次储、放热循环;给水通过预热器被加热升
温,在蒸发器5中发生相变,汽水混合物在汽包
(图中未示出)中汽水分离后,水返回蒸发器,蒸
汽则进入过热器被进一步加热至所需的供热参
数,

用于对外供热。随着放热过程的进行,混凝土出
口导热油温度逐渐降低,放热过程结束时应保证
导热油与水/蒸汽间有足够的换热温差。

3 新型储换热系统的参数设计

某热电厂2台50 MW热电联产机组对外提
供工业用汽,参数为0.8 MPa、230 ℃,供热用户夜
间用汽较少,为满足最低负荷运行及烟气环保排
放要求,需通过开背压机排汽提升机组负荷。白
天则因用户用热需求增长,而出现供热需求缺口。
为解决该电厂的供热实际问题,为其制定了储换
热系统方案并进行了系统参数设计。系统设计储
热时长9 h,放热时长6 h。

3.1 混凝土储热系统设计

混凝土储热模块的储放热过程计算是系统设
计的重点。混凝土储热模块由混凝土储热材料和
其内部排列的多根钢管组成,由多个混凝土储热
模块的串联和并联来实现高效率的充放热和储热
容量的扩充。根据吴明^[5]等人的研究,利用 Schu-
mann 方程来描述混凝土储放热过程中流体与固
体的能量方程,并编制了计算程序和运行软件,对
混凝土单元储、放热过程中混凝土及流体介质的
温度变化进行计算,通过初步假设混凝土储热单
元结构参数、充热过程蒸汽平均流速、放热过程
导热油进口温度、流速等参数,结合充、放热时
长,可得到混凝土储、放热过程特性参数,最终得
到所需导热油和机组高温蒸汽流量,如图2所示。

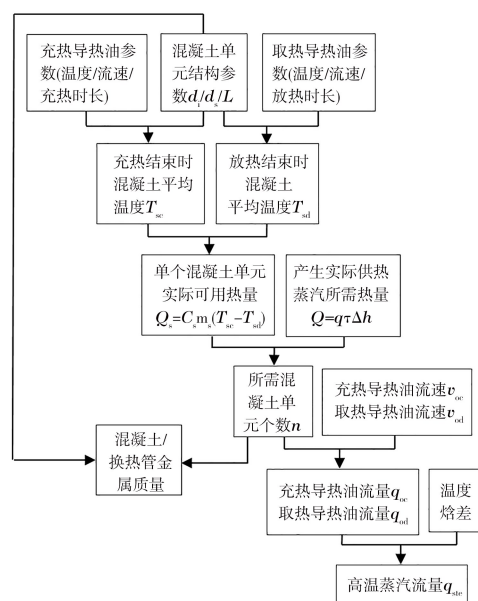


图2 混凝土储热系统计算流程

初始参数需要不断进行调整以满足放热过程结束时导热油与水/蒸汽间足够的换热温差,以及合理的机组高温蒸汽流量等。

经过储放热过程的耦合计算,得到了一套适用于该电厂的储换热系统设计运行参数,如表 1 所示。混凝土储热系统储能密度可达 116.9 kWh/m³,储热容量 373.5 MWh。

表 1 混凝土储热系统储放热主要参数

介质	参数	数值
混凝土	储热单元外径/mm	144
	储热单元串联总长度/mm	100
	储热单元总个数/个	2 001
	储热过程结束时平均温度/℃	351
	放热过程结束时平均温度/℃	184
	储能密度/(kWh·m ⁻³)	116.9
充热蒸汽	进口温度/℃	500
	储热过程结束时出口温度/℃	240
	流量/(t·h ⁻¹)	202
取热导热油	进口温度/℃	40
	放热过程结束时出口温度/℃	250
	流量/(t·h ⁻¹)	378.9

3.2 蒸汽发生系统设计

蒸汽发生系统由多级换热器组成,还可以按需要设置二级或多级过热器,实现不同参数蒸汽的同时供应,满足不同用户、不同时段的实际需求,使系统具有更好的运行稳定性和灵活性。与导热油缓冲罐的配合,实现了产汽过程的可控性,根据放热过程中混凝土出口导热油温度的变化调节其流量,可保证整个供热时段内蒸汽参数的稳定,不影响用户。同时,也为不同工况、不同需求时蒸汽流量、温度的调节提供了较为灵活的手段,系统适应性更强。缓冲罐的存储作用还可在一定程度上提高后续进入蒸汽发生系统的导热油温度,变相地削弱混凝土放热特性对导热油温度的影响,提高放热后期蒸汽发生系统的产汽能力。

储热系统放热阶段,导热油进入混凝土储热单元吸收热量。随着放热过程的进行,混凝土中存储的热量逐渐减少,混凝土出口导热油温度将逐渐降低,即相同流量导热油携带的热量降低。表 2 列举了放热时间分别为 0.5 h 和 6 h 的蒸汽发生系统主要参数,过热蒸汽始终保持 230 ℃、0.8 MPa 以满足供热要求。

由表 2 可知,随着放热过程的进行,进入蒸汽发生系统的导热油温度由 340 ℃左右逐渐降至 250 ℃;当保证供热蒸汽温度、压力不变时,蒸汽流量不断减小,到放热过程结束时刻即 $t=6$ h 时,

表 2 不同放热时刻蒸汽发生系统主要参数

参数	水/蒸汽		导热油	
放热时间/h	$t=0.5$	$t=6$	$t=0.5$	$t=6$
进口温度/℃	25	25	340	250
出口温度/℃	230	230	40	40
出口压力/MPa	0.8	0.8	—	—
流量/(t·h ⁻¹)	80	53	370.2	376.7

供热蒸汽流量为 53 t/h。该储换热系统每天可为电厂在用热高峰时段提供约 460 t 的工业供热蒸汽,假设工业蒸汽售价 200 元/t,系统年运行天数按 230 d 计算,则电厂可获得售汽收益约 2 116 万元/a。

4 结束语

a. 新型储换热系统将机组蒸汽富余时段的热量进行储存,在电力需求低而供热需求大时,机组仍可维持低负荷工况运行,供汽缺口则通过释放储热系统的热量产生供热蒸汽来补充,由此实现热电联产机组的“热电解耦”。

b. 该系统主要由混凝土储放热系统、蒸汽发生系统两大部分组成,2 种系统技术都已有实际工程案例,混凝土价格低廉、性质稳定,蒸汽发生系统在光热发电领域已有大量应用,运行安全可靠。

c. 该系统为燃煤电站实施深度调峰提供了一种技术手段,能有效提高电网对可再生能源电力的消纳能力;同时,可以根据用户实际用热需求灵活地设计运行参数,并为用户提供稳定的用热蒸汽,满足机组多样化的供热需求。

d. 该系统可根据不同燃煤机组实际运行特点及需求,有针对性地匹配设计满足容量及参数要求的定制式混凝土储热换热系统,实现热量的充分利用、增加机组的运行灵活性,为电厂带来“增加调峰补贴”与“工业供汽”的双重收益。

参考文献:

- [1] 沈利,徐书德,关键,等.超临界大容量火电机组深度调峰对燃煤锅炉的影响[J].发电设备,2016,30(1):21-23.
- [2] 吕泉,王伟,韩水,等.基于调峰能力分析的电网弃风情况评估方法[J].电网技术,2013,37(7):1887-1894.
- [3] 陈磊,徐飞,王晓,等.储热提升风电消纳能力的实施方式及效果分析[J].中国电机工程学报,2015,35(17):4283-4290.
- [4] 黄晨,武广富,郑威.火电机组灵活性提升技术研究[J].电站系统工程,2018,34(3):14-16,20.
- [5] 吴明,李明佳,何雅玲,等.太阳能热发电用高温混凝土储热系统性能分析[J].西安交通大学学报,2013,47(5):1-5,43.

本文责任编辑:齐胜涛