

双级蓄热与双运行模式的塔式太阳能热发电系统

宿建峰¹, 韩 巍¹, 林汝谋¹, 杨敏林²

(1 中国科学院工程热物理研究所, 北京 100190; 2 东莞理工学院分布式能源研究中心, 广东 东莞 523808)

摘 要: 提出了双级蓄热和双运行模式的塔式太阳能热发电新系统, 模拟分析了新系统性能特性, 同时利用 EUD(Energy-Utilization Diagrams)分析方法揭示出关键过程中热能梯级利用与节能机理。双级蓄热系统流程比较好地解决了常规系统在能量蓄存和释放过程中烟损失大的问题, 同时双运行模式为缓解太阳能不连续性的缺陷提供了新手段。在相同蓄热量的条件下, 新系统的蓄热子系统独立运行的发电增加率为 38.1%, 研究成果为开发高效、低成本的塔式太阳能热发电系统提供新途径和理论支撑。

关 键 词: 双级蓄热; 双运行模式; 热能梯级利用; 塔式太阳能热发电

中图分类号: TK514 文献标识码: A

引 言

由于化石能源的有限性及其利用过程产生污染的严重性, 发展可再生能源就成为解决能源与环境协调相容与能源短缺问题的重要途径^[1~9]。特别是太阳能具有储量大, 分布广泛, 开采利用清洁等优点引起人们的广泛关注。1878 年在巴黎建立的太阳能热交互式蒸汽机, 揭开太阳能热发电的序幕。随后, 美国、西班牙、意大利等国家都将太阳能热发电技术作为国家研究开发的重点。经过多年研究和实际运行经验积累, 太阳能热发电技术已日臻成熟, 电站关键设备的成本也有较大幅度的下降。从总体上看, 整个 20 世纪太阳能热发电技术都处于实验和示范阶段, 而从本世纪开始, 可再生能源发展呈现出全球性繁荣局面, 具有低成本潜力的太阳能热发电技术也进入快速发展时期。但在相当长的一段时间内, 太阳能大规模开发利用成本仍然较高, 在经济上无法与常规化石能源匹敌, 而且还存在不连续与不稳定等问题。因此, 与其相关的关键科技问题就成为能源领域研究的前沿热点课题。

塔式太阳能热发电系统因其具有较高的集热温

度而备受人们关注, 它通常由聚光集热、蓄热和动力 3 个子系统组成。目前, 吸热器中的吸热工质有熔盐、空气和水蒸气 3 种形式, 其中以水蒸气为吸热工质的换热设备技术比较成熟, 得到更多的应用。在太阳能热发电技术中, 目前普遍应用的是单级蓄热方式, 为提高蓄热子系统产生蒸汽的温度, 其蓄热工质的最高使用温度在不断提升^[7], 而且在完成蒸汽的蒸发与过热的过程中, 相应烟损失大。另外, 目前蓄热子系统投资的比例较大^[8], 为延长系统的运行时间和大型化的需要, 还需要大量增加高温蓄热工质的总量, 致使单级蓄热子系统与总系统的投资都急剧增加。

本研究概述了以高温蓄热材料和中温相变材料为蓄热工质的双级蓄热和耦合、解耦双运行模式的塔式太阳能热发电新系统, 新系统中的双级蓄热流程比较好地解决或缓解了常规单级蓄热太阳能热发电系统在能量蓄存和释放过程中烟损失大的问题, 而其双运行模式也为解决或缓解太阳能不连续的固有缺陷开拓了新手段。

1 新系统及其集成构思与特点

1.1 新系统流程概述

新系统由聚光集热(定日镜场、塔和吸热器)、双级蓄热(高、低温蓄热器)和蒸汽动力 3 个子系统组成, 其流程如图 1 所示。太阳能经定日镜反射后聚集到以水为吸热工质的吸热器中, 产生过热蒸汽。新系统中的聚光集热与双级蓄热子系统完全解耦时, 吸热器产生的过热蒸汽依次经换热器 1、3, 将蒸汽显热、潜热按品位的不同分别蓄存在高、低温蓄热器中, 蒸汽凝水返回到吸热器, 完成聚光集热和蓄热过程。新系统完全解耦时, 汽轮机所需的蒸汽完全由双级蓄热子系统提供, 汽轮机的排汽经冷凝加压

收稿日期: 2007-12-07; 修订日期: 2008-05-20

基金项目: 国家 863 基金资助项目(2006AA05010101); 国家自然科学基金资助项目(50776020, 50836005)

作者简介: 宿建峰(1979-)男, 山东莱州人, 中国科学院工程热物理研究所硕士研究生。

后在低、高温蓄热器中分别完成蒸发、过热过程,之后进入汽轮机,循环做功,输出电能。新系统耦合方式运行时,吸热器产生的蒸汽进入汽轮机,输出电能,汽轮机的排气经冷凝加压后返回到吸热器中。当吸热器产生的蒸汽量大于汽轮机所需额定蒸汽量时,富余部分的过热蒸汽所含的能量分别蓄存在高、低温蓄热器中;当吸热器产生的蒸汽不能满足汽轮机额定需求时,可由蓄热子系统供热产生过热蒸汽,供给汽轮机使用。

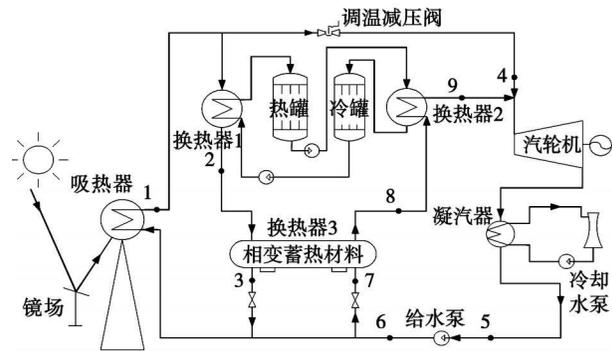


图 1 双级蓄热与双运行模式的塔式太阳能热发电系统流程图

1.2 系统的集成构思与特点

1.2.1 双级蓄热

新系统采用双级蓄热的方式,更好体现出能的综合梯级利用的系统集成原则,即将吸热器收集到的能量按品位不同进行分级储蓄,高品位能量由高温蓄热器蓄存,低品位能量由低温蓄热器蓄存。蓄存能量在释放时,低、高温蓄热器分别用于蒸汽的发生、过热过程,两者相互独立、又互相补充。其主要特点有:(1)蓄热工质的选择更加灵活合理;(2)高、低温蓄热器功能独立,蓄热子系统工作条件更加稳

定;(3)蓄热子系统技术风险小、投资低。高温蓄热器的热容量通常为低温蓄热器热容量的 20% 左右,采用双级蓄热的方式可以大幅减少昂贵的高温蓄热工质的使用量,并在减少蓄热子系统投资情况下降低了蓄热技术带来的风险。总之,双级蓄热的系统结构不但有效地减小了蒸汽在蓄存和释放过程中的焓损失,提高了能量转换利用率,还能大幅减少价格昂贵的高温蓄热工质的使用量,降低了蓄热子系统的初投资。

1.2.2 双运行模式

新系统中的聚光集热和蓄热与动力子系统之间可以灵活采用耦合与解耦两种运行模式,即吸热器生产的过热蒸汽,既可以直接驱动汽轮机发电,又可以存储于蓄热子系统中用于间接产生过热蒸汽。双运行模式克服了传统太阳能热发电系统在太阳能发生突变时汽轮机掉线等问题,提高了系统对太阳能不稳定和不连续的适应性。因而,双运行模式具有突出的稳定性,并最大限度地延长了电站的有效运行时间。

2 系统模拟与性能特性

2.1 系统模拟条件

采用 Aspen Plus 流程模拟软件对 10 MW 级的新系统进行了模拟,模拟过程中忽略系统主要传热单元向环境的散热损失和管路的压力损失。聚光集热子系统中镜场参数参考美国 Solar One 系统的相关设计数据^[9];双级蓄热子系统中采用熔盐(60% NaNO₃, 40% KNO₃)作为高温蓄热工质^[10],采用中温相变材料 NaNO₃ 作为低温蓄热工质^[11];动力子系统汽轮机采用无再热、四级抽汽的单缸凝汽式汽轮机组。模拟过程中的初始参数如表 1 所示。

表 1 各子系统的初始参数

聚光集热子系统	数值	蓄热子系统	数值	动力子系统	数值
镜场面积/m ²	71 130	熔盐成份NaNO ₃ / %	60	额定压力/MPa	10.1
辐射强度/W·m ⁻²	1 000	kNO ₃ / %	40	额定温度/ °C	510
镜场效率/ %	76	熔盐最高温度/ °C	520	额定功率/MW	12.5
镜面反射率/ %	93	熔盐最低温度/ °C	320	额定效率/ %	33
镜面清洁度/ %	95	熔盐平均比热/kJ·(kg·°C) ⁻¹	1.515		
镜场可用度/ %	99	NaNO ₃ 相变温度/ °C	307		
吸热器效率/ %	87	NaNO ₃ 熔解热/ kJ·kg ⁻¹	172		

2.2 系统性能特性

2.2.1 评价指标

塔式太阳能热发电系统的性能主要取决于 3 个子系统的性能参数及其匹配状况。若聚光集热子系统与动力子系统的性能参数基本相同和运行模式确定时,蓄热子系统的能量转换利用状况就非常重要。Solar One 的蓄热子系统是以导热油和砂石为蓄热工质的单级蓄热方式,以 Solar One 为参比系统,对新系统的能量利用情况进行了研究,揭示出双级蓄热子系统的优势。由于新系统与 Solar One 具有类似的聚光集热和动力子系统,因此可方便地采用蓄热子系统独立运行时的发电增加率来评估新系统的性能,其定义为:

$$\phi = \frac{P_d - P_s}{P_s} \times 100\% \quad (1)$$

式中: ϕ —发电增加率; P_d —新系统中蓄热子系统独立运行时的发电量; P_s —参比系统中蓄热子系统独立运行时的发电量。

2.2.2 模拟结果

通过系统模拟,得到 10 MW 级的新系统各关键点热力学参数,如表 2 所示,新系统中吸热器出口蒸汽温度为 550 °C,汽轮机入口的额定蒸汽温度为 510 °C,因此,吸热器产生蒸汽与汽轮机之间需增设调温装置。按表 1 的相关假设,聚光集热子系统输出能量值大于汽轮机所需的最大能量值,系统采用耦合的运行方式,即汽轮机以额定功率输出电能,双级蓄热子系统同时蓄存富余蒸汽的能量;没有太阳能输入时,双级蓄热子系统依靠所蓄存的能量生产蒸汽,驱动汽轮机发电。表 3 是综合上述两种运行情况下得到的系统火用平衡值。

表 2 新系统流程点参数

流程点	温度/°C	压力/MPa
1	550	10.1
2	350	10.1
3	307	10.1
4	510	10.1
5	36.16	0.006
6	205	10.1
7	205	8.58
8	300	8.58
9	500	8.58

由表 3 可以看出,10 MW 级的新系统的电能净输出量为 11.4 MW,占输入火用的 17.3%;新系统的

各项损失中,吸热器的火用损失最大,占到输入火用的 38.1%;其次是镜场火用损失,为 30.4%;还可以看出,双级蓄热子系统自身的火用损失很小,为系统输入火用的 0.32%。上述各项损失的大小将在 EUD 分析中给予解释。为揭示双级蓄热子系统的在能量利用方面的优势,在相同输入的条件下,对双级蓄热子系统与 Solar One 的单级蓄热子系统独立运行输出电能的情况进行了对比性分析,其结果如表 4 所示。

表 3 新系统火用平衡

	火用值/kW	百分比/%
太阳能输入	66 222.03	100
电能输出	11 435.59	17.27
聚光集热损失		
镜场损失	20 097.55	30.35
吸热器损失	25 255.03	38.14
动力损失		
调温损失	322.08	0.49
透平损失	4 544.57	6.86
凝汽器损失	1 049.91	1.59
换热器损失	812.78	1.23
电厂自用电	2 494.85	3.77
蓄热子系统损失	209.67	0.32

表 4 蓄热子系统独立运行时系统火用平衡

	双级蓄热系统		Solar One	
	火用值/kW	百分比/%	火用值/kW	百分比/%
输入	2 904.45	100.00	2 904.45	100.00
电能输出	1 685.56	58.03	1 220.66	42.03
蓄热子系统				
蓄存损失	95.95	3.30	361.36	12.44
释放损失	113.72	3.92	298.35	10.27
动力子系统				
透平损失	671.53	23.12	753.34	25.94
凝汽器损失	161.14	5.55	194.87	6.71
换热器损失	136.57	4.70	56.82	1.96
自用电损失	39.98	1.38	19.05	0.66

蓄热子系统独立运行时,双级蓄热子系统所产生蒸汽品位高于 Solar One 蓄热子系统所产生的蒸汽品位(277 °C, 2.76 MPa),其原因将在 EUD 分析中给予解释。由表 4 可以看出,双级蓄热子系统独立运行时,输入火用的大部分以电能的形式输出,占到输入火用的 58.0%;双级蓄热子系统在能量蓄存和释过程中的火用损失分别为输入火用的 3.3%和 3.9%;在相同输入的情况下,双级蓄热子系统的火用损失是 Solar One 的 31.8%,其发电增加率为 38.1%。

3 系统关键过程 EUD 分析

塔式太阳能热发电系统是以太阳能为输入, 以电能为输出, 涉及到 3 个子系统的复杂能源动力系统。为揭示系统的能量利用机理, 采用了 EUD 方法分析新系统中各个子系统的能量利用情况。EUD 图象焓分析方法是基于能的品位概念^[12], 将系统各个能的转化过程的能量变化、能的品位变化与能量传递过程的焓损失三者关系有机联合, 共用一个图象描述出这三者的内在联系。任何过程都有能量释放侧和接受侧, 且释放侧的品位 A_{ed} 应大于等于能量接受侧的品位 A_{ea} 。以能的传递量 ΔH 为横坐标, A_{ed} 和 A_{ea} 为纵坐标作图, 那么 A_{ed} 和 A_{ea} 两条曲线之间的面积为相应过程的焓损失。另外, 为了揭示双级蓄热子系统能量利用的特点, 采用了系统比较的方法, 对 Solar One 系统中所采取的单级蓄热子系统独立运行过程同时进行焓平衡分析, 结果也列于表 4 中。

3.1 新系统的聚光集热和动力子系统焓分析

聚光集热和动力子系统分别实现太阳能收集、太阳能向热能和热能向电能的转化, 在实现能量传递和转化的过程中, 镜场和吸热器的光学损失及吸热器中由太阳能向吸热工质转化过程中的焓损失构成了聚光集热子系统的焓损失; 动力子系统的焓损失主要包括蒸汽透平、凝汽器和给水加热器损失。根据表 1 中聚光集热子系统的光学特性、吸热器及汽轮机的热力学特性得到新系统中两个子系统的焓分析结果。

在聚光集热子系统中, 太阳能经镜场反射后聚集到吸热器上, 其中一部分散失于周围环境中, 另一部分被吸热器中的吸热工质带走, 其焓分析如图 2 所示。图中 A_{ed} 表示太阳直射辐射的释放曲线, A_{ea} 为水蒸气吸收能量曲线, 太阳能的品位式为^[13]:

$$A(f) \approx 1 - \frac{4T_a}{3T_s}(1 - 0.28\ln f) \quad (2)$$

式中: f —稀释因子, 对于太阳能直射辐射, $f=1$; T_a —环境温度 298 K; T_s —太阳温度 5 777 K。由图 2 可以看出, 因镜场中定日镜反射, 相互遮挡、阻断及截取因子等因素, 镜场损失较大, 占到输入焓的 30.4%。新系统中吸热器向环境的辐射和对流损失较大, 同时吸热器中存在高品位的太阳能与蒸汽发生之间的能量转化, 因此, 吸热器总的焓损失较大, 占输入焓的 38.1%。图 3 和图 4 为电厂动力子系统的焓分析。图 3 中的 $A_{ed, st}$ 曲线表示了汽轮机主蒸汽膨胀做功的

过程, 其损失为对应输入焓的 6.9%; 新系统中采用大量电机驱动定日镜跟踪太阳位置, 因此电厂自用电比例较大, 占到输入焓的 3.8%。动力子系统中采用大气式除氧器, 给水加热器采用带有蒸汽冷却和疏水冷却的面式加热方式, 汽轮机的排汽在凝汽器中的焓损失及凝水在各级加热器中的换热焓损失如图 4 中各阴影面积所示。结合表 3 和图 4 得到, 凝汽器与总的给水加热器的焓损失相差不多, 分别占到输入焓的 1.6% 和 1.2%。

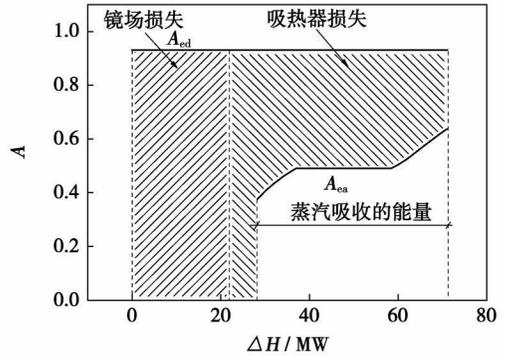


图 2 聚光集热子系统焓分析

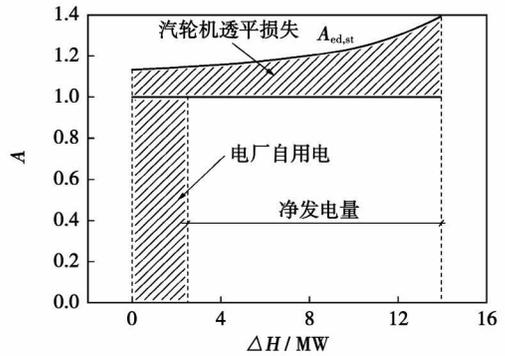


图 3 汽轮机透平及电厂自用电 EUD

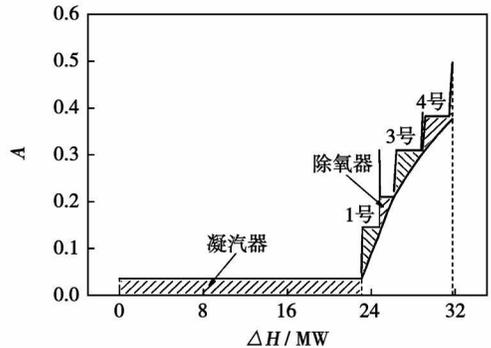


图 4 凝汽器及给水加热 EUD

3.2 蓄热子系统 EUD 分析

在塔式太阳能热发电系统中,蓄热子系统起着对太阳能的移峰填谷和稳定系统运行的作用。当吸热器产生的蒸汽量大于汽轮机的所需的额定蒸汽量时,富余的高温蒸汽首先与蓄热工质进行热交换,完成能量的蓄存过程;在吸热器产生的蒸汽量少于汽轮机的额定蒸汽量或没有太阳能输入时,汽轮机的凝水与蓄热工质进行热交换,产生相应品位的蒸汽,驱动汽轮机继续运行,完成蓄存能量的释放过程。以 Solar One 为参比系统,对双级蓄热子系统的能量蓄存和释放过程作了对比性分析。

3.2.1 能量蓄存过程 EUD 分析

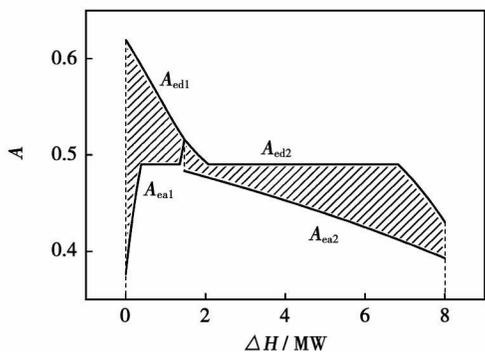


图 5 Solar One 蓄热子系统蓄热过程 EUD

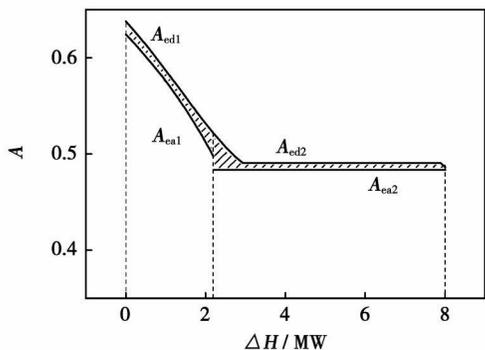


图 6 双级蓄热子系统蓄热过程 EUD

Solar One 的单级蓄热子系统与本文提出的双级蓄热子系统在能量蓄存过程中的 EUD 如图 5 和图 6 所示。在 Solar One 中,为增强导热油使用的安全性,对吸热器出口的 516 °C 蒸汽采用了调温措施^[4],调温后的蒸汽,将 218 °C 的导热油加热到 304 °C。图 5 中曲线 A_{ed1} 与 A_{ea1} 间的阴影面积表示了调温过程的火用损失, A_{ed2} 与 A_{ea2} 间的阴影面积表示调温后的蒸汽与导热油的换热过程的火用损失。在双级蓄热子系统中,首先利用吸热器出口的 550 °C 蒸汽的大部分显热将高温蓄热器中熔盐工质由 320 °C 加热到 520 °C;低温蓄热器中的 NaNO_3 吸收蒸汽的

部分显热与全部的潜热后在 307 °C 下熔解,图 6 中曲线 A_{ed1} 与 A_{ea1} , A_{ed2} 与 A_{ea2} 间的阴影面积表示了上述双级蓄热子系统在能量蓄存过程中的火用损失。比较图 5 和图 6 可以看出,由于蒸汽放热特点,双级蓄热方式合理利用了高温熔盐和中温相变工质的吸热特性,其蓄存能量的品位高且蓄热过程中的火用损失大为降低,由表 4 可以得到,其火用损失为 Solar One 单级蓄热子系统对应过程的 26.6%。

3.2.2 能量释放过程 EUD 分析

Solar One 单级蓄热子系统与本文提出的双级蓄热子系统在能量释放过程中的 EUD 如图 7 和图 8 所示。图 7 中 A_{ed1} 与 A_{ea1} 之间阴影面积表示 Solar One 中导热油加热给水到过热蒸汽过程的火用损失。图 8 中 A_{ed2} 与 A_{ea2} 之间阴影面积表示在低温蓄热器中液态 NaNO_3 放出熔解热加热给水到饱和蒸汽过程的火用损失; A_{ed1} 与 A_{ea1} 之间阴影面积表示在高温蓄热器中熔盐加热饱和蒸汽到过热蒸汽过程的火用损失。由图 8 可以看出,双级蓄热子系统的高、低温蓄热工质恰能满足蒸汽产生过程中的吸热特性,蓄热子系统在能量释放过程中的火用损失大为降低且能产生高品位蒸汽,由表 4 可以得到,其火用损失为 Solar One 中单级蓄热子系统对应过程的 38.1%。

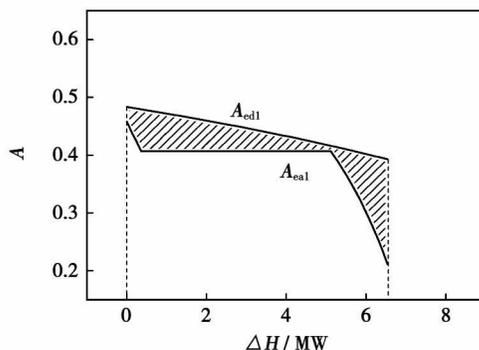


图 7 Solar One 蓄热子系统放热过程 EUD

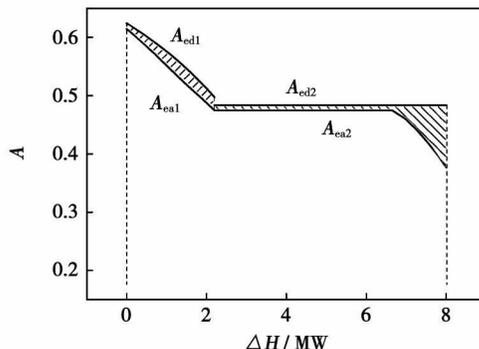


图 8 双级蓄热子系统放热过程 EUD

双级蓄热子系统, 利用高温熔盐和中温相变工质, 实现了热能梯级利用, 与目前常用的单级蓄热子系统相比, 在能量的蓄存和释放过程中, 焓损失大为降低且能产生高品位蒸汽。本文所提出的双级蓄热方式与 Solar One 的单级蓄热方式相比发电增加率为 38.1%; 同时, 因蒸汽过热过程所需的能量通常为蒸汽发生过程所需能量的 20% 左右, 从而采用双级蓄热的方式将大幅减少高温蓄热工质的使用量。由此可见, 双级蓄热方式的提出为大型化的塔式太阳能热发电系统进一步降低发电成本提供了新途径。

4 结 论

(1) 概述了双级蓄热和双运行模式的塔式太阳能热发电新系统, 阐述系统集成构思与特点, 模拟分析系统性能特性, 同时利用 EUD 分析方法揭示出关键过程中热能梯级利用与节能机理。

(2) 模拟结果表明, 双级蓄热方式在能量蓄存和释放时的焓损失只为同类 Solar One 系统对应过程焓损失的 26.6% 和 38.1%, 而发电增加率为 38.1%。另外, 相对于单级蓄热方式, 双级蓄热方式的高温蓄热工质使用量约降低 80%, 降低了系统投资。

(3) 新系统中集热与蓄热子系统和动力子系统之间灵活采用耦合与解耦两种运行模式, 大大增强了系统对太阳能不稳定和不连续的适应性, 并最大限度延长了电站有效运行时间。

(4) 研究成果为开发高效、低成本的塔式太阳能热发电系统提供新途径和理论支撑。

参考文献:

- [1] 蔡睿贤, 金红光, 林汝谋. 能源动力系统与环境协调相容的难题 // 李喜先, 主编. 21 世纪 100 个交叉科学难题 [C]. 北京: 科学出版社, 2005: 366—371.
- [2] 国家自然科学基金委员会. 中国基础学科发展报告 (能源科学) [R]. 北京: 中华人民共和国科学技术部, 2001.
- [3] 严陆光, 陈俊武. 中国能源可持续发展若干重大问题研究 [M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [4] FRANCIA G. Pilot plants of solar steam generation systems [J]. Solar Energy, 1968, 12: 51—64.
- [5] 袁建丽. 新型太阳能热利用系统集成研究 [D]. 北京: 中国科学院, 2007.
- [6] 顾伟, 翁一武. 低温热能发电的研究现状和发展趋势 [J]. 热能动力工程, 2007, 22(2): 115—119.
- [7] MARCELINO S. Methodology for generation of heliostat field layout in central receiver systems based on yearly normalized energy surfaces [J]. Solar Energy, 2006, 80: 861—874.
- [8] ROBERT P C, JOSEPH L. Assessment of parabolic trough and power tower solar technology cost and performance forecasts [R]. USA: Sargent & Lundy Consulting Group, 2003.
- [9] HUGH E R, GREGORY J K. An evaluation of molten salt power towers including results of the solar two project [R]. USA: Solar Thermal Technology Department, 2001.
- [10] JAMES E. Final test and evaluation results from the solar two project [R]. USA: Solar Thermal Technology Sandia National Laboratories, 2002.
- [11] 王华, 王胜利. 高温相变蓄热的研究进展 [J]. 能源工程, 2004, 6: 6—11.
- [12] JIN H G, MASARU ISHIDA. Graphical exergy analysis of complex cycles [J]. Energy, 1993, 18: 615—625.
- [13] WINTER C J. Solar power plants: fundamentals technology systems economics [M]. USA: Springer-Verlag, 1991.
- [14] 王长贵. 新能源发电技术 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2003.

(编辑 韩 锋)

新技术、新工艺

燃气轮机叶片出口边直径的选择

据《Теплоэнергетика》2008 年 5 月号报道, 燃气涡轮喷嘴叶片和工作叶片出口边最佳直径的选择在工程设计中很重要, 叶片出口边变薄, 能降低尾流的强度, 减少了混合损失。

根据对西方公司生产的燃气涡轮叶片实际资料的整理, 通过优化叶型尾部的几何能提高燃气轮机装置效率和收益。

提供了冷却叶片出口边直径与叶片最大厚度之比取决于弦长的图示关系、冷却叶片出口边直径与叶片喉部之比取决于叶片弦长的图示关系, 以及 Alstom 公司和 GE 公司的不冷却叶片出口边直径取决于弦长的图示关系。

表明了 Alstom 公司 GT24 和 GT26 燃气轮机装置低压涡轮不冷却的导向器出口边减薄而产生的功率增量。

使用提议的方法, 显著减少不冷却叶片出口边厚度, 并可以提高燃气轮机装置运行的收益。

(吉桂明 供稿)

waste incinerator and the formation of pollutants (CO , NO_x , SO_2 , HCl). The model in question includes a submodel for material distribution in an incinerator, one for carbon and volatile combustion, one for oxidization and reduction of NO_x and another one for the reaction of SO_2 and HCl with CaO etc. An applicability test has been performed of the models by using the data measured during the operation of a 150 t/d and 260 t/d solid waste incinerator. By using the model, analyzed was the influence of the excess air coefficient, primary air flow-rate, coal blending ratio and separation efficiency of a separator etc. on the formation of pollutants. The model can be helpful and provide a guide for the analysis and design of incinerators. **Key words:** grate-CFB (Circulating Fluidized Bed), MSW (Municipal Solid Waste) incineration, combustion, pollution, model

煤基发电系统燃烧前后氨水吸收 CO_2 的对比 = **Comparison of CO_2 Capture by Ammonia Water Before and After Combustion in a Coal-fired Power Generation System**[刊, 汉]/ GAO Jian, NI Wei-dou, LI Zheng (Department of Thermal Energy Engineering, Tsinghua University, Beijing, China, Post Code: 100084)// Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2009, 24(1). - 127 ~ 131

A contrast study has been performed of carbon removal by ammonia water before combustion in an IGCC (Integrated Gasification Combined Cycle) and after combustion in the coal-fired power plant of a power generation system. It has been found that when the carbon is removed before the combustion, ammonia loss and content of ammonia in purified gas are all smaller. Compared with the carbon removal before the combustion, the water quantity lost in carbon removal after the combustion by adopting an ammonia method will be 300 to 400 times more than that in carbon removal before the combustion, and the ammonia quantity lost will vary in a range from 200 to 500 times (depending on the ammonia water concentration adopted for absorption). A comparison of the carbon removal by the ammonia method with other chemical carbon removal methods for use before the combustion shows that the carbon removal by the ammonia method is a very advantageous one. Compared with MEA (monoethanolamine), the heat consumption of the carbon removal by the ammonia method can be decreased by about 2 percentage points. Moreover, the ammonia can be regenerative at a pressure, offering more favorable conditions for a subsequent further compression treatment. **Key words:** CO_2 removal, ammonia water, energy consumption, IGCC (Integrated Gasification Combined Cycle), coal-fired power plant

双级蓄热与双运行模式的塔式太阳能热发电系统 = **Tower Type Solar Energy-based Thermal Power Generation System with a Two-stage Heat Storage and Dual Operating Mode**[刊, 汉]/ SU Jian-feng, HAN Wei, LIN Ru-mou (Institute of Engineering Thermophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China, Post Code: 100190), YANG Min-lin (Research Center of Distributed Energy Sources, Dongguan University of Science and Technology, Dongguan, China, Post Code: 523808)// Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2009, 24(1). - 132 ~ 137

The authors have presented a tower type of solar energy-based new thermal power generation system with two stages of heat storage and dual operating mode. The performance characteristics of the new system were simulated and analyzed. In the meantime, by using the EUD (Energy-Utilization Diagrams) analytic method, revealed was the thermal energy stepped utilization and energy-saving mechanism in critical processes. The flow path in the two-stage heat storage system has solved relatively well the problem of a large exergy loss of a conventional system in its heat storage and release process. In the meanwhile, the dual operating mode can provide a new means for lessening the discontinuity defect of the solar energy. Under the condition of a same quantity of heat storage, the power generated by the heat storage subsystem of the above-mentioned new system, when the subsystem operates independently, can increase by 38.1%. The research results can well provide a new approach and theoretical support for the development of high efficiency and low cost tower type of solar energy-based thermal power generation systems. **Key words:** two-stage heat storage, dual operating mode, thermal energy stepped utilization, tower type solar energy-based thermal power generation