

压力热回收锅炉的结构和技术要点

Cofiguration and Major Technical Points of Pressurized
Heat Recovery Boilers

中国科学院力学研究所 吴东垠 田文栋 魏小林 盛宏至 (北京 100080)

【摘要】 压力热回收锅炉是整体煤气联合循环 (IGCC) 电站的主要设备之一,在国内还是一项新兴技术。文中介绍压力热回收锅炉的结构特点和运行特性,并结合我国实际情况较为详细地介绍压力热回收锅炉的研究内容,对它的发展趋势作简要说明,为我国开发和引进 IGCC 示范电站提供有益的分析。

【关键词】 整体煤气化联合循环 压力热回收锅炉 高温腐蚀 磨损

Abstract Pressurized heat recovery boiler is one of main equipment of integrated coal-gasification combined cycle (IGCC) power plant. It is a newly developing technology at home. This paper introduces the configuration features and operation characteristics of pressurized heat recovery boiler, and introduces the research contents on such kind boiler in detail in light of China's actual conditions. This paper also gives brief illustration on the developmental trends of pressurized heat recovery boiler, providing useful analysis for developing and importing IGCC demonstration power plant in China.

Key words integrated coal-gasification combined cycle (IGCC) pressurized heat recovery boiler high temperature corrosion wear

整体煤气化联合循环 (IGCC) 是比较先进的洁净煤发电技术,IGCC 电站被称为“世界上最洁净的燃煤电站”,IGCC 之所以有良好的环保性能是因为它对污染物的处理是在能源转换过程中,在高压、高浓度、小流量的煤气中进行的,比起增压流化床和常规电站在大流量、低浓度的烟气中处理来说,不仅净化效果好,而且处理费用低;其次,IGCC 发电是燃气和蒸汽的联合循环,从热力学分析其循环效率是最高的。德国、日本等工业发达国家相继进行了 IGCC 示范电站的试运行,运行实绩表明其环保特性、节能率和经济性等指标均优于其它方式的燃煤电站,IGCC 电站作为未来燃煤发电的首选技术,随着技术的不断完善,设备国产化份额的增加,不仅使电站运行的可靠性提高,成本也随之降低,必将有利于 IGCC 技术在国内的推广和应用,在下世纪有可

能成为中国电力工业的主力军^[1]。

1 压力热回收锅炉的结构特点和运行特性

1.1 压力热回收锅炉的作用

IGCC 系统的构成如图 1,其工艺流程见文献 [3],压力热回收锅炉位于煤气化炉和陶瓷过滤器之间。在煤气化炉内,煤粉在空气分离系统产生的氧气作用下发生气化反应产生高温粗煤气,粗煤气的主要成份为 CO、CH₄ 和 H₂,同时含有 H₂S、COS、气态碱金属和灰尘等有害物质。因此,高温粗煤气在进入燃气轮机的燃烧室之前必须进行净化处理。

如果将高温粗煤气降至常温进行净化,虽然净化效率较高,但是将损失热煤气的大部分显热和潜热,从而导致整体 IGCC 的净效率下降。因此,在 IGCC 系统中,较多采用高温煤气净化技术,也就是将粗煤气在较高温度下除尘、脱硫和去除碱金属,并尽量使煤气以较高的温度送入燃气轮机的燃烧室进行燃烧,充分利用高温煤气的显热,从而较大幅度地提高 IGCC 系统的净效率。目前高温陶瓷过滤器被普遍认为是具有前途的高温除尘设备,装在美国的 Tidd PFBC 示范电站的陶瓷过滤器的运行温度已达 843℃,但最长连续运行时间仅为 464 h,而且运行中存在元件热损脆裂、高温尘粒与陶瓷表面粘结或反应等不良现象,制约高温陶瓷过滤器安全可靠地运行,美国 LGTI IGCC 示范电站于 1992 年将原湿法水洗除尘装置改为棒状陶瓷过滤器,运行温度也只是在 260℃ 左右^[2]。尽管高温煤气除尘和脱硫净化技术发展较快,但净化设备在高温运行时间问题较多,其实允许的运行温度并不太高,但是,高温粗煤气的温度却较高,而且随着气化炉的型式不同,其温度也相差较大,如 Texaco 气化炉出口的煤气温度为 1 000 ~ 1 500℃,而 Prenflo 气化炉出口煤气温度竟高达 1 500 ~ 1 800℃。显然高温粗煤气在进入净化设备之前尚有大部分显热有待于回收,这部分显热若不能有效地回收,能量损失是很大的,以某

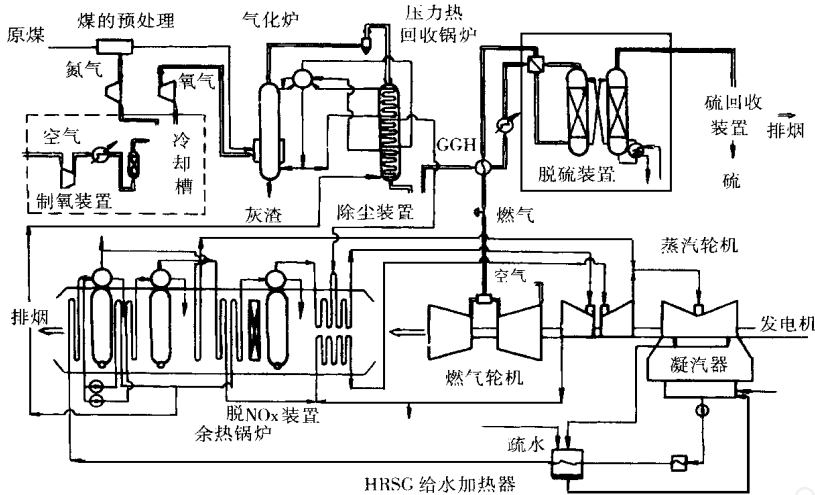


图 1 IGCC 系统

Texaco 气化炉为例,当粗煤气温度为 1345°C 时,其中所含显热占气化炉输入总热能的 15.5% ,占煤气高位热值的 19.8% 。位于气化炉下游的压力热回收锅炉就是有效利用这部分显热的换热设备,在压力热回收锅炉中,利用粗煤气的热量得到饱和蒸汽,该饱和蒸汽除了送入余热锅炉的过热器加热为过热蒸汽用于蒸汽轮机作功之外,另外一部分蒸汽还可以送入气化炉直接参与气化过程。

1.2 压力热回收锅炉的结构

在国内有关压力热回收锅炉的研究才刚刚起步。压力热回收锅炉一般分前后 2 级,前一级与气化炉连为一体,这样既能有效地吸收粗煤气的显热,又能延长气化炉的长度,提高碳转化率,该级的温度水平一般较高,以辐射换热为主,故称辐射式压力热回收锅炉;后一级是相对独立的设备,目的是进一步降低煤气温度,以达到煤气净化处理所允许的温度,这一级的煤气温度相对较低,以对流换热为主,故称对流式压力热回收锅炉。与气化炉相连的辐射式压力热回收锅炉而言,不仅涉及气化炉与压力热回收锅炉的接口技术,而且由于气化炉的型式不同,压力热回收锅炉的工作条件也不尽相同。如前所述,除了由于气化炉的型式不同而使其出口的煤气温度有很大差别之外,压力热回收锅炉的位置也因气化炉的型式不同而有所变化。如 Krupp、Shell 和 Destec 等气化炉的辐射式压力热回收锅炉位于气化炉的上部,而 Texaco 气化炉的压力热回收锅炉则位于气化炉的下部。显然,在该型气化炉内,渣块在落入灰渣池的过程中很容易粘结在压力热回收锅炉的受热面上,工作条件相对较为恶劣,其受热面的粘污、高温

磨损和腐蚀等问题将更为突出。

1.3 压力热回收锅炉的运行特性

压力热回收锅炉的内外介质均有一定的压力,如德国克虏伯公司技术人员介绍某压力热回收锅炉的粗煤气压力为 3.7 MPa ,蒸汽压力为 12.6 MPa ,因而压力热回收锅炉一般有双层炉墙,其中内层用耐火材料做衬里,以防止高温腐蚀,内部受热面是由传热管组成几层的同心圆(有的为 3 层),外面套 1 层压力墙承受压力,2 层炉墙之间留有足够的空间以利安装、检修和焊接,灰渣在下落过程中,经过几级泄压至常压后落入下面的灰渣池内,灰渣池内为循环水,水温保持在 80

左右。受热管内介质为蒸汽,类似常规锅炉的水冷壁,也有采用火管炉,但会遇到管子堵塞和焊口泄漏等问题,示范运行的经验证明:还是水管炉较为可靠。受热管采用耐腐蚀材料,为了减轻磨损,粗煤气的设计速度较低,最高仅为 $5\sim 6\text{ m/s}$,为防止受热面积灰,一般采用振动除灰方式^[3]。

1.3.1 煤气流程

气化炉产生的高温粗煤气直接进入与气化炉相连的辐射式压力热回收锅炉,由于通过压力热回收锅炉的粗煤气尚未净化,含有许多有害杂质,为了保证压力热回收锅炉的安全,要求受热面的温压不可能过大,同时受热面的管壁温度也不可能太高。在煤气侧通常采用部分甚至全部冷煤气再循环以降低辐射式压力热回收锅炉入口的粗煤气温度,冷煤气即压力热回收锅炉出口的冷煤气,如某气化炉气化段出口粗煤气的温度约为 1500°C ,在辐射式压力热回收锅炉入口处,经过全部冷煤气再循环混合后煤气温度降为 900°C 左右,在此温度时,煤气中原来呈熔化状态的飞灰可以固化下来,较大块的灰渣将落入气化炉的渣池,与此同时,气态碱金属在此温度时也可以分离出来。通过辐射式压力热回收锅炉受热面的吸热后,煤气温度降为 380°C 后进入对流式压力热回收锅炉进行换热,对流式压力热回收锅炉出口的煤气温度可以降为 235°C ,从而达到煤气净化所要求的温度,然后进入煤气净化系统进行净化处理。

1.3.2 水/蒸气流程

为了保证压力热回收锅炉的安全,在压力热回收锅炉内主要布置蒸发受热面。为了保证受热面的温压不致过高,蒸汽轮机的凝结水首先经余热锅炉

的省煤器预热后才送入压力热回收锅炉再进一步加热,在压力热回收锅炉内仅将接近饱和的蒸汽加热至饱和参数后又重新回到余热锅炉的过热器中加热至过热蒸汽,该过热蒸汽最终引至蒸汽轮机。

2 压力热回收锅炉的主要研究内容

众所周知,进入压力热回收锅炉的粗煤气虽然流量较小,却温度较高,并富含 H_2S 、 CO_2 、气态碱金属氧化物等有害物质及固体颗粒,受热面的腐蚀和磨损在所难免,必须提出有效的解决措施。压力热回收锅炉在国内还是一项新技术,其腐蚀机理、结构设计、材料选择和运行经验等方面均面临诸多的技术性挑战。因此,在引进国外设备的基础上,进行消化和吸收,在运行过程中不断积累运行经验。结合我国的实际情况,压力热回收锅炉的研究内容可以分 3 个方面:

2.1 压力热回收锅炉选型的技术研究

首先对国外的压力热回收锅炉技术进行消化吸收,根据不同气化炉型和压力等级对压力热回收锅炉的影响,选择适宜的气化炉型和压力等级,完善气化炉和压力热回收锅炉的接口技术,如 Krupp、Shell 和 Destec 等气化炉和 Texaco 气化炉的辐射式压力热回收锅炉的位置不同,但各有优势,分析 2 种型式气化炉对压力热回收锅炉的影响,为压力热回收锅炉的安全运行以至气化炉的选择提供技术依据。

气流床气化炉型的进料方式分水煤浆进料和干粉进料,进料方式不同对压力热回收锅炉的设计运行亦有不同的要求,确定适宜的进口参数,合理选择受热面的布置方式和受热管内外介质流速,提高受热面的传热系数,降低蒸汽侧和烟气侧的阻力,优化 2 级压力热回收锅炉和余热锅炉的热力系统。

2.2 防止受热面高温腐蚀及粘污措施的研究

由于高温粗煤气含有许多有害杂质及固体颗粒,防止受热面的高温腐蚀、粘污和磨损是保证压力热回收锅炉安全运行的关键,在压力热回收锅炉的设计过程中必须引起足够的重视。

在粗煤气中 $H_2S + CO_2$ 、 HCl 、 NH_3 和气态碱金属等的共同作用下,在不同温度段的受热面管材呈现多种腐蚀机理,要求压力热回收锅炉用钢有足够的热强性,良好的耐腐蚀和冲蚀磨损能力,合理选择材料是保证压力热回收锅炉安全运行的首要条件。陕西渭河化肥厂引进的日本宇部一氧化碳转化炉工况类似对流式压力热回收锅炉,其过热器选用 TP321 和 TP304L 等奥氏体不锈钢;首钢引进压力

热回收锅炉的受热面管材进行了表面渗铬处理。鉴于我国的国情,合理选用钢材是保证设备安全运行的基础,采用先进工艺措施进行金属表面处理和提高钢材的抗腐蚀能力可以降低压力热回收锅炉的成本,延长材料使用寿命。

解决受热面的高温腐蚀和粘污磨损问题应重点从压力热回收锅炉的结构设计、受热面的位置、压力热回收锅炉各主要运行参数和运行方式的选择,吹灰器的型式及布置方式等方面采取措施。如优化受热面的布置方式,避免高温煤气区和高温壁温区同时出现,控制受热面金属壁温不宜过高等;选择或计算炉内各处煤气和管内介质流速和阻力、受热面传热系数、管壁温度,实现系统优化。

石灰石高温脱硫的最佳温度范围为 $900 \sim 950$,可以尝试采用冷煤气回注的方式将压力热回收锅炉入口的煤气温度降至这一温度范围,此时一些飞灰可以固化并分离出部分碱金属,然后再用石灰石脱硫以降低粗煤气的含硫量,待固态灰和脱硫产物——石膏被收集后再进入压力热回收锅炉,这样可以有效缓解受热面的高温腐蚀和粘污磨损,压力热回收锅炉的运行和设计难度都会相对降低,该项技术的完善和发展将有重大意义,有必要进行可行性论证并实施具体的设计方案。

针对实际运行过程中可能出现的问题,也应提出相应的解决方案,缓解受热面的高温腐蚀和粘污,如优化吹灰器的布置和运行方式等,并在示范电站的运行过程中不断积累和日益完善,其安全运行时间应保证在 10 万 h 以上。

2.3 压力热回收锅炉热力计算方法软件的开发

除了进行对流式压力热回收锅炉计算方法软件的开发之外,还包括与各种型式气化炉(如 Texaco、Dsteco 和 Shell/ Prenflo 气化炉)相连的辐射式压力热回收锅炉热力计算方法软件的开发^[4]。

结合已有的工作基础、数据和相关资料,进行综合分析,确定压力热回收锅炉的结构和参数,建立其数学模型并编制相应的热力计算方法软件,计算不同炉型的炉内温度场、流场和传热等,实现热力系统的优化设计,工作重点应是材质的传热系数的计算和选择。该软件可以验算引进压力热回收锅炉的特征参数,作为引进设备谈判的技术依据,在此过程中可以进一步修正、扩展热力计算方法软件,为引进设备和自行设计制造作准备,准确可靠的热力计算方法软件是我国自行设计制造技术的基础。

3 压力热回收锅炉的发展趋势

压力热回收锅炉的内外介质均有一定的压力,要求设备的密封性相当好,为了抗腐蚀和粘污磨损,防止炉体泄漏就需要性能优良的材料。因此,压力热回收锅炉造价较高,为降低 IGCC 电站的投资,有人建议采用高温粗煤气激冷降温,即高温高压冷却水闪蒸回热方案。根据 Texaco 公司计算,这样可使电站单位造价降低约 6.2%,使电站热效率下降 5.6%,而 IGCC 电站的一大优势就是其高效性。当然,为了兼顾工程造价和电站热效率的关系,也可以把对流式压力热回收锅炉或辐射式压力热回收锅炉 2 者选 1,这样电站热效率与造价将居 2 者之间^[5]。

随着 IGCC 技术在我国的应用推广和不断完善、设备国产化份额的增加,其成本可望进一步降低。同时,化工、城建等行业的煤气化炉也需要用压力热回收锅炉取代传统的水冷降温方式实现节能降耗,压力热回收锅炉产生的中压和高压蒸汽再参与气化过程,而且辐射式压力热回收锅炉与气化炉连为一体又可以延长气化段的长度,提高碳转化率,效益是相当显著的。

4 结束语

4.1 压力热回收锅炉除了应用于 IGCC 电站之外,还可以应用于城建、化工等行业煤的气化过程,开发压力热回收锅炉技术不仅为 IGCC 电站的推广应用作技术储备,还可以带动上述行业的发展,具有广阔的应用前景。

4.2 压力热回收锅炉是一项新技术,结合我国的国

情,需要学习和借鉴国外的先进经验,进行消化吸收,抓紧研究和开发,力争早日使我国拥有自行设计和制造压力热回收锅炉的能力。

4.3 压力热回收锅炉的主要问题是高温腐蚀和粘污磨损,就国内现有技术条件而言,采用工艺措施进行金属表面处理和提高钢材的抗腐蚀能力是降低压力热回收锅炉成本,延长材料使用寿命的发展方向,进行压力热回收锅炉选用钢材的实验研究工作十分必要。

4.4 换热介质煤气和蒸汽均有一定的压力,与常规锅炉有明显的区别,需要在设计和运行过程中予以充分考虑。

4.5 除了提高压力热回收锅炉的运行可靠性之外,由于压力热回收锅炉的成本较高,必需设法降低成本,才能促进压力热回收锅炉的推广和应用,提高设备的国产化份额不失为一种有效途径。

5 参考文献

- 1 在我国发展整体煤气化联合循环(IGCC)发电技术的论证与分析. 中国 IGCC 示范项目技术可行性研究课题组, 1994(11)
- 2 IGCC Database and Hot Gas Cleanup System Studies. De-AC01-88FE61660Reaport, 1993
- 3 吴东垠. 整体煤气化联合循环(IGCC)发电系统. 电站系统工程, 1997(6)
- 4 “九五”国家科技攻关计划课题可行性论证研究报告. 原国家科学技术委员会, 1996(3)
- 5 我国整体煤气化联合循环(IGCC)示范电站初步方案分析. 中国 IGCC 示范项目技术可行性研究课题组, 1994(12)

收稿日期:1999-06-05

(责任编辑 孙家振)

国外科技信息

PictureTel 网上视频协作(VCV)新闻发布会 在视频协作方面占世界领先地位的美国全视通(PictureTel)国际公司于 1999 年 8 月 18 日北京举行了 PictureTel 网上视频协作新闻发布会。PictureTel 全球市场营销集团副总裁 Frazer Hamilton 先生,亚洲区董事总经理倪士林先生出席了会议。在会上 Frazer Hamilton 先生宣布了该公司新的战略方向,即网上视频协作(VCN)。VCN 集 PictureTel 全系列视频协作产品和服务、新兴宽带 IP 网络质量和渗透全球的因特网之大乘,可以使各公司在高质量的宽带线路上经济

高效地实现可视通信。

PictureTel 的 VCN 方案由 4 个主要部分组成:(1)视频终端和解决方案,从单个桌面系统,集团可视会议系统,到打包的产品和服务;(2)通过主要的网络服务商提供接入和传输功能;视频协作服务,包括规划、实施和管理;(3)针对用户商业要求,专门设计,功能丰富、基于 web 的高性能应用方案。

通过应用 PictureTel 网上视频协作方案,各公司可以:借助因特网将信息传递给全球范围更多的接收者,并可直达其桌面;充分发挥新型宽带网和作为新兴的因特网接入技术的功能;通过购

买集成解决方案,扩大现有可视会议系统的应用范围,降低视频协作的费用,令视频协作应用于各个商业领域;通过 PictureTel 服务全球的会议服务中心,利用从 28.8 kbit/s 到 MPEG-2 范围宽广的网络性能,在公司组织中建立视频协作;使用进行的近似广播质量的高质量视频协作方案改进通信。

PictureTel 为全球提供了一套完整的视频协作方案,所有不同类、规模的公司都可以受益于视频协作,而不必对技术本身进行管理,从而最终令用户提高工作效率。有关 PictureTel 其他信息可以在 www.picturetel.com 网址上查询。