

热力学分析与节能

论文集

第九届全国热力学分析与节能学术会议学术委员会 编

53

科学出版社

热力学分析与节能论文集

第九届全国热力学分析
与节能学术会议学术委员会 编

科学出版社

1999

内 容 简 介

1998年8月在青岛召开了第九届全国热力学分析与节能学术会议,本文集辑录的是会议上宣读论文的一部分,经本届会议学术委员会评审后录用,共37篇.这些论文反映了近年来我国热力学分析与节能这一领域中,在理论与实践取得的进展.此外,文集还收入了3篇特邀报告和特约文稿,以及13篇近年来各领域节能技术改造成果交流报道.

本文集可供石油、化工、冶金、建材、轻工、医药等部门,以及热能工程、工程热物理、空调制冷、化学工程等领域从事研究、设计、管理的工程技术人员和高等院校师生参考.

图书在版编目(CIP)数据

热力学分析与节能论文集/第九届全国热力学分析与节能学术会议学术委员会编.-北京:科学出版社,1999.4

ISBN 7-03-007033-X

I. 热… II. 第… III. ①热力学-分析-学术会议-文集 ②节能-学术会议-文集 IV. TK01-53

中国版本图书馆CIP数据核字(98)第34013号

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1999年4月第一版 开本:787×1092 1/16

1999年4月第一次印刷 印张:17 3/4

印数:1—900 字数:406 000

定价:30.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

序

1996年3月,八届人大第四次会议通过的《中华人民共和国国民经济和社会发展“九五”计划和2010年远景目标纲要》,是我国经济和社会发展的跨世纪蓝图和行动纲领.在《纲要》中把“坚持节约与开发并重,把节约放在首位”,作为实现我国战略目标和可持续发展必须遵守的方针.在经济增长方式转变的要求中指出,其中一个重要的方面就是要“狠抓资源节约和综合利用,大幅度提高资源利用效率”.提高能源利用效率和节约能源是实现上述战略目标的最有效、最经济的途径.

为了谋求能源的合理利用,首先必须努力使为完成目的而投入的能源最少.然而,由于技术的限制,无论付出多么巨大的努力,仍然会残留有未发生有效作用的热能(含其他形式的能量)以及即使发生有效作用完成任务后剩余的热能,将其再使用就是余热的回收利用.从理论上讲,在一定工艺与设备的条件下,余热利用又是能源利用效率高低的决定性因素.另外,由于能源利用过程和余热本身又是环境污染的主要来源,因此,提高能源利用效率是节约能源、改善环境、提高企业经济效益的有效措施.

为了提高能源利用效率和节约能源,必须遵循热力学中关于能量相互转换的基本规律,必须遵循能量梯级利用的原则,谋求总体的协调,进行分析、综合和优化,寻求恰当和合理的系统结构和参数的匹配.对于热力学、热经济学、过程综合集成及多目标决策和总体优化等理论、方法和技术的深入探索与研究,都是为了对此类客观自然规律认识的深化.因此,这方面的研究与实践具有十分重要的意义,也正因如此,近一二十年来,不论是国际上还是国内,都举行过工程热力学、节能、能源与环境等各类学术会议,以交流、促进和推动这方面工作的开展.

全国热力学分析与节能学术会议是上述这类学术会议之一.它从1981年在厦门举行第一届全国热力学分析与节能学术会议以来,到这次第九届学术会议已经历了17个岁月.一开始是国内一些热衷于焓分析研究的同行专家们自行组织起来的.从第二届学术会议以后,确定每两年举行一次,由申办单位自筹经费轮流在各地召开.期间,得到了中国工程热物理学会、中国能源研究会和中国节能协会等单位的支持,并在第八届学术会议上宣告中国能源研究会“热力学及工程应用”专业委员会的成立,一直发展到在该委员会组织下由西安交通大学和胜利石油管理局联合主办本次第九届学术会议,表明了我国热力学分析与节能领域的研究、开发和实践取得了很大的进展和一批引人注目的成果,在国际和国内学术界得到了很好的评价.

从与会代表和宣读论文来看,本次会议具有以下三个特点:

(1) 代表性更为广泛.据不完全统计,在90多位与会代表中,既有一批熟知的老朋友,更有许多第一次参与本项学术活动的新朋友和新单位,它们大约占代表总数的1/3以上,说明了从事本领域工作的科技队伍正在日益壮大,特别是涌现出一批中青年的新生骨干力量.

(2) 理论与实践的结合更为紧密. 在与会代表中, 既有一批来自高等院校和研究院所从事教学和科研的教师和研究人员, 还有相当一部分来自企业和生产第一线的代表, 后者大约占代表总数的 1/2 左右, 说明了本领域的研究工作已经从刚开始的主要侧重于理论性研究发展到理论与实践相结合、理论为生产服务、指导实践以及科研成果转化为生产力等方面的良好境界.

(3) 学术内容日益深入, 活动方式更为多样. 本次会议宣读的近 70 篇论文中, 涉及焓分析及其应用的论文约占 33%, 这些论文反映了焓概念和机理的探索越来越深入, 焓分析方法越来越普及, 应用领域越来越广泛. 涉及能量系统与过程的分析优化、综合与集成等方法和技术的论文约占 17% 左右, 反映了这些技术和方法越来越引起人们的关注, 也越来越趋实用. 涉及节能实践、节能技术、节能方式、能源管理以及余热利用技术的论文约占 50% 左右, 反映了在我国有关行业中节能活动的日益活跃. 这次学术活动安排方式也较为多样. 除了宣读论文外, 还专门请到了中国工程院姚福生院士作了有关我国能源形势和余热利用方面的大会特邀报告, 并且还首次带有尝试性地组织了以余热利用为主题的专题讨论会, 此外还组织了一次有关专家与胜利石油管理局科技人员的座谈活动, 从而进一步促进与加强了与企业之间的联系.

经过本次学术会议学术委员会认真讨论, 选入本论文集的有 50 篇. 论文集的内容安排也较为丰富, 既有大会特邀报告、特邀专稿、大会发言, 也有交流的学术论文, 还有节能技改的成果. 本论文集的出版得到了科学出版社一如既往的支持和胜利石油管理局的大力赞助. 希望通过这本论文集的出版, 能够为促进和宣传我国能源科学和节能技术作出贡献. 值此论文集即将付梓之际, 略书数语, 算作简略介绍.

最后, 谨向为召开本次学术会议与出版论文集而付出辛勤劳动的所有单位和同志致以衷心的感谢!

朱明善

1998 年国庆于清华大学

第九届全国热力学分析与节能学术会议组织委员会

主任:朱明善

副主任:项新耀 郁永章 何生厚

秘书长:项新耀(兼)

副秘书长:李吉锡 张早校

委员:(按姓氏笔画排列)

王 玲	王加璇	王清照	冯 霄	华 贵	刘元虎
汤学忠	朱明善	江哲生	阮云岭	李吉锡	张世锋
张早校	张洪珂	张璧光	杨 昭	杨友麒	杨东华
何生厚	陈安民	罗 挺	郁永章	金志本	项新耀
俞颐秦	徐 飞	曹建新	隋新华	傅秦生	

第九届全国热力学分析与节能学术会议学术委员会

主任:华 贵

副主任:杨友麒 冯 霄 肖云汉

秘书长:王清照

委员:(出席会议者按姓氏笔画排列)

王清照	冯 霄	史 琳	史美声	华 贵	汤为华
汤学忠	朱明善	肖云汉	李茂德	张万恒	张璧光
杨 昭	杨友麒	陈文芳	陈金灿	项新耀	俞颐秦
徐 达	傅秦生	詹作龙			

目 录

第一部分 大会特邀报告与特约文稿

工业余热利用.....	姚福生	3
工业余热利用设备和系统.....	肖云汉	6
我国节能近况与对策	陈和平	12

第二部分 论 文

I. 热力学分析的基础研究

9801 不可逆熵损失的机理分析	王松平 华 贲 陈清林 尹清华	21
9802 热力学体系熵函数的正定性	王松平 华 贲 陈清林 尹清华	28
9803 熵传导过程分析研究		李茂德 33
9804 间歇过程热贮存模式的理论分析	张早校 冯 霄 郁永章	38
9805 氨压缩制冷与吸收制冷能量利用与经济性分析	田 慧 陈安民	44
9806 太阳能干燥系统几种循环的熵分析.....	张璧光 霍光青 赵忠信	50
9807 斯特林制冷机典型产品的熵分析		
..... 傅秦生 陈 军 陈流芳 李宏伟 吴裕远		55
9808 操作温度对内燃机余热吸附制冷系统性能的影响		
..... 张立志 王 莉 王 玲 郭 卫		60
9809 多级耦合热泵系统的优化特性	林比宏 陈金灿	65
9810 柴油机余热型吸附制冷机试验研究	王 莉 王 玲 张立志 郭 卫	71

II. 能量系统的分析、综合与优化改进

9811 催化剂再生系统熵平衡及节能措施	阎西祥 董绍平	77
9812 稠油集输系统能量平衡分析及节能对策		
..... 李东明 王志国 项新耀 张义祥 张洪江 张喜瑞		84
9813 海勒系统空冷电站的尾部参数优化	傅秦生 刘耀新 杨炳运 钱立伦	90
9814 有效能分析法在制冷热泵系统节能上的应用	张嘉辉 马一太 赵 军	95
9815 稠油热采注汽系统能损分析及节能途径		
..... 王志国 项新耀 李东明 何仲斌 张喜瑞 张洪江		102
9816 稠油集输过程工艺参数优化.....		项敬岩 108
9817 清洁化工生产过程的综合.....	杨友麒 韩方煜 冯 霄	114
9818 过程系统扩产与能量合同时优化的熵经济模型及其策略		
...尹清华 王文劲 陈步宁 甄惠清 豆铁牛 杨道红 华 贲 陆恩锡		120
9819 过程与联合循环系统能量集成的全局夹点分析法		

.....	傅维禄	尹洪超	李庆	佟承与	127		
9820	烧碱蒸发工段的热集成.....	冯霄	顾兆林	凌琴根	刘军武	苑得印	133
9821	空冷塔内外流场的三维数值模拟.....	张晓东	王清照				137
9822	300MW 机组单耗分析.....	王培斌	司红代	孟召军	徐丰		142

III. 节能技术应用与企业能源管理

9823	油田燃油锅炉应用热管空气预热器的热经济性分析.....	.....	朱法银	阎敬东	邓寿禄	149	
9824	海水淡化压缩-喷射复合型热泵的热经济性研究.....	龚晓波	顾兆林	冯霄	郁永章	贾德金	154
9825	稠油热采输汽管道保温结构研究.....	刘小燕	项新耀	蹇永学		159		
9826	大庆油田南一区掺低温水流程试验与应用.....	张万恒	张亚轩	张辉		164		
9827	用于余热利用的热管换热器设计.....	李云	郁永章			168		
9828	利用低温余热的吸收式变热器.....	史琳	朱明善			172		
9829	热风循环技术在裂化催化剂制备中的应用.....	王艳	刘艳			177		
9830	高效层燃技术节能改造应用.....	张爱玲	方云			181		
9831	NaY 分子筛合成中新技术的应用及节能效果.....	李仲县	王元功			186		
9832	应用变频调速技术减少机泵无用功用电量.....	.....	贺廷礼			190	
9833	略论提高石油企业用热效率.....	刘元虎	沈雷	项新耀		195		
9834	企业能源管理系统研究及软件制作.....	李建新	王永川			202		
9835	管道模型管理技术.....	郭莹	石景璋	李全利		207		
9836	氧气生产优化管理模型.....	刘姿	陈君华	汤学忠		214		
9837	围绕节能降耗降成本推广“三不”集输新工艺.....	朴新国	王远宁	吕思敏	栾庆	王秋艳	220

第三部分 技术改革成果交流

9838	炯分析法可使炼厂节能再上一个台阶.....	.....	郝平	段天平	丁丽芹	徐海升	227
9839	优化操作参数, 合理利用余热, 节能降耗.....	.....	丛波景	郭强	张燕	黄福志	231
9840	辽河油田集中供暖的运行实践及改进.....	.....	吕兴波				236
9841	常减压加热炉系统改造前后炯分析.....	田原宇	卢洪刚				240
9842	关于污水处理后的可再生能源利用.....	杨连秋	田泽辉				245
9843	蒸汽锅炉憋压运行的节能效果分析.....	王德明	苟忠明	李刚			251
9844	对南台水厂节能改造的研究.....	张同科	吴庆泉	冯广志			253
9845	第三套溶剂脱蜡装置节能改造.....	王艳	颜敏				256
9846	乙二醇电加热器的研制与应用.....	丁建成	丁仁岭	周群			259
9847	DHP40 型高压机冷凝水量的计算及其疏水阀的选型.....	.....	王久朝				262

9848	降低回转式空气预热器漏风节约能源消耗·····	庄前玉 赵 波 巩汉强	265
9849	冷油器的酸洗与经济运行·····	孙光武	269
9850	浅谈链条式快装锅炉节能与环保技术改造·····	李济清	273

第一部分

大会特邀报告与 特约文稿

工业余热利用

姚福生

(机械工业部科学技术委员会)

工业余热利用,是工业节能的重要方面,同时也是开源,可以看作是“工业二次能源”的开发利用.包括有压力的余热流体的余压能和还能补燃的排气、排液与排渣的化学能在内的统称“工业余热”.从现代热物理的观点,同样多的热量,在不同的温度下提供,可利用的价值不同.余热源的温度越低,余热的品位愈低.工业余热简易的利用方式,是用来加热温度较低的物料,或者副产温度较低的蒸汽.常压下使水沸腾的热源温度必须高于 100°C ,而且温差愈小,所需蒸发器的换热面积越大,设备投资就愈大.因此,工业余热资源的温度愈低,作为工业企业自用加热源的可能性就愈小,所以必须进行经济分析.余热的利用也有一个技术问题,如把摄氏几百度的余热资源仅仅用作供应热水或常压蒸汽的投资,固然可以在短时期内迅速回收,但是这种方式实质上是热量的降温使用,让能量在品质上降级使用,对资源的利用不尽合理.实际上完全可以利用该余热源加热中间介质,获得高于大气压力的蒸汽,让它在透平机或其他膨胀机里作功回收动力,然后再由排汽加热水,供应热水或常压蒸汽.当然,这必须进行经济分析和投入产出、资金回收期等评估.这只是单纯地从数量角度考虑.真正的节能还必须兼顾质量上的使用得当,避免能量可用性的过多损失,必须用“焓”平衡取代热平衡.“焓”损失最小的方案是能量得到最充分利用的方案,如高炉炉顶煤气,不但有 $300\sim 400^{\circ}\text{C}$ 的物理余热,还有 $1\sim 1.5$ 大气压的表压,可用来推动烟气透平机回收动力,这就必须进行“焓”平衡分析.“焓”损失最小,意味着作功能力的充分发挥.必须防止在较大温差下的传热,这就要求在小温差下强化传热和改善系统的对外隔热性能.尤其对于低位余热的动力回收、吸收式致冷和热泵装置来说,还由于低沸点工质的传热性能远比水差,换热面积庞大,设备投资昂贵,需要研制高效紧凑式换热器.余热资源的温度越低,回收动力的卡诺效率也愈低,回收动力装置的排热量和吸热量比较接近,取得每kW动力所需换热面积势必愈多.多数发达国家受能源短缺和涨价的推动,纷纷制定政策,鼓励充分利用工业余热,容许资金回收期延长 $5\sim 7$ 年.国外被选定开发利用的低位余热源的温度正在逐步降低, 120°C 以上余热资源属于动力回收的应用范围, $120\sim 80^{\circ}\text{C}$ 仍处于实验室研究阶段.我国利用 150°C 的热物流余热回收动力已可进行中间试验.至于 100°C 以下的工业余热利用,以发展热泵技术和吸收式或吸附式等致冷方案比较经济合适.我国引进的石化成套设备中,普遍利用工艺过程中的风机、水泵、油泵、压缩机等机械设备,节能效果十分显著.根据粗略的统计,我国余热资源大致是:

(1) 高温烟气余热

是指高于 450℃ 的烟气,如各种冶炼炉窑、加热炉、燃气轮机排气.这类余热资源数量最大,分布也广,约占余热资源的 50% 以上.

(2) 冷却介质的余热

各种工业窑、炉的壳体及烟道,在运行时温度很高,为了延长其使用寿命,一般都有冷却介质(如水)降温,冷却介质吸收了大量的热量.这类余热占余热资源的 15%~23%.

(3) 废汽、废水的余热

在轻工、化工等浓缩、蒸发、干燥等工艺过程中排出的废汽、废水,具有一定的热量.这类余热约占余热资源的 10%~16%.

(4) 高温制品和炉渣的余热

如钢锭、赤热焦炭、炉渣、钢渣等高温物质在冷却过程中释放出来的热量.这类余热占余热资源的 6%~14%.

(5) 可燃废气、废液、废料

这些可燃物具有一定的化学能,通过燃烧可以转变为热能,有时这些可燃物还具有相当高的温度.如炭黑反应炉、密闭式电石炉、铁合金电炉等排放的烟气含有可燃气体;化肥厂的造气炉渣、纸浆厂的黑(红)液等.不仅可以回收热量,有时还可以回收大量的化学物质(如从黑液中回收碱).这类余热约占余热资源的 8%.

(6) 化学反应过程中的余热

在某些化工生产流程中,上一道工序的出口工艺气的温度很高,而下一道工序的温度要求较低,在这两道工序之间必须将工艺气的热量排走,以保证下道工序的正常进行,并提高有效工艺物质的收益和质量.如石脑油裂解炉出口裂解气温度 800℃,要求在极短的时间(以百分之几秒计)将其冷却到 350℃,然后才可能进行下道工序,收得乙烯.在急冷中释放出来的大量热量,对乙烯是无用的,所以可称之为废热.这类余热约占余热资源的 5%~9%.据《余热利用设备节能前景预测》推算,预测目前我国余热资源约有 6000 余万吨标准煤,其中高温余热占 80% 以上,但余热利用比例不高,所以余热利用是大有可为的.这里要特别强调,余热锅炉是其中较为可靠易行的余热利用设备,它是把工艺系统来的高温烟气或可燃性废气、废液、废料,经燃烧后生成的烟气引至余热锅炉,通过余热锅炉受热面的换热,产生一定压力和温度的蒸汽,用于发电、动力、工艺、生活或采暖等.近来的实践证明,余热锅炉的应用,对提高工业企业热能利用率、节约一次能耗、降低生产成本、促进企业内部动力平衡、减轻大气污染等方面,起着十分重要的作用.所以,余热锅炉已在冶金、化工、造纸、建材、轻工、机械等企业得以推广使用,收到了显著的经济效益.近 30 年来,我国已有近 20 几家锅炉厂生产各种余热锅炉,已开发出 15 个系列近 100 余种规格品种,但年产量仅几百蒸吨,尚不能满足节能的需要.低温位的余热则可以利用热泵达到节

能目的. 热泵本身虽不是能源, 只是有效利用低温位能源的一种技术手段, 但可达到节约能源、提高能源利用率的目的.

所谓“热泵”, 就是通过压缩式或吸收式循环, 从较低温度的热源吸取热量而以较高温度排出热量的系统. 吸收式热泵至今尚未见有应用, 而压缩式热泵有以下两种类型:

(1) 开路压缩式循环热泵

它是将低温蒸发所产生的蒸汽, 通过压缩机提高温度后再用于加热的系统, 其工质就是产品. 这种热泵在蒸馏塔用得最多, 可节约蒸汽量.

(2) 闭路压缩式循环热泵

它的工质循环回路是密闭系统, 其热源流体与工质不是同一流体, 彼此分隔开. 热泵应用的场合如下: 建筑物室内加热和冷却, 调节车间的温度和湿度, 加热水或其它液体, 浓缩、蒸发、精馏、干燥, 同时加热和冷却. 余热利用技术的进一步开发, 将会推动节能工作的飞跃发展, 应给予厚望.

工业余热利用设备和系统

肖云汉

(中国科学院工程热物理研究所)

摘 要

回收、利用工业余热是各种工业节能中最后实施的、也是广泛采用的重要措施。本文分析余热回收用的换热器、余热锅炉、动力回收、热泵和系统化技术等,以开拓余热利用途径。

一、引 言

能源效率和节能是实现可持续发展战略目标最有效、最经济的途径,“坚持开发与节约并举,把节约放在首位”是我国能源战略的基本方针。为了谋求能源的合理利用,首先必须努力使为完成目的而投入的能源最少。然而,由于技术的限制,仍然残留有未起有效作用的热及起有效作用完成任务后剩余的热,将其再利用就是余热的回收利用。在各种节能途径中,回收利用余热是最后实施的、也是广泛采用的重要措施,是节约能源、改善环境、提高企业经济效益的有效措施。

从1980年起,我国工业余热利用已经历三个“五年”计划,水平逐步提高。“六五”期间,余热量大,利用水平起点低,采用一般余热利用技术也取得了良好的效益,投资约356元/tce。“七五”期间,回收利用难度增大,通过对国外先进技术的消化、吸收、提高,形成了自己的技术,使我国余热利用技术水平有了较大提高。“八五”期间,在推广已成熟技术的同时,研究开发引进中规模与难度较大的余热利用技术,缩小了余热利用技术水平与工业发达国家的差距。为了组织好“九五”余热利用项目,开展了“工业余热节能潜力和途径研究”,1996年底通过了国家经贸委资源节约综合利用司组织的评审,达到了预期目标:研究了主要耗能工业的余热利用,提出了我国工业余热利用节能潜力和“九五”期间建议安排的工业余热利用技术改造示范项目,为编制“九五”期间节能技术改造年度示范项目计划提供依据^[1]。为了推进我国工业余热利用,同时开展了“国内外工业余热利用技术现状和发展前景”的专题研究,本文报告有关结果^[2]。

二、换 热 器

1. 高温换热器

650℃以上的高温余热,来自各种工业窑炉,品位高而且集中,如何尽量少贬值地加以

利用,是余热回收的重要课题,大力发展高温高性能换热器是关键.国内高温炉窑的空气预热温度达 500℃的只占 12%左右,高温固体与熔渣余热利用水平亟待提高,节能潜力很大.

(1) 陶瓷换热器

对 1000℃级的高温烟气,高温陶瓷材料在性能和造价方面呈现出优势.用工业陶瓷制成传热管(光管或肋片管)以取代耐热钢管,既能承受更高的温度,经久耐用,传热性能良好,还可大幅度地降低造价.陶瓷换热器主要用于工业窑炉的气体余热回收,用来加热新鲜空气,节约燃料,其工作温度可高达 1500℃,比金属换热器高出 500℃左右.陶瓷板翅换热器,可经受 1000℃的高温.美国陶瓷换热管发展较快,并实现了陶瓷管的小口径化.国内使用的碳化硅管换热器,效果很好.机械行业有关单位正在积极开发和完善陶瓷换热器和碳化硅管换热器,以适应 1000℃以上的高温烟气余热利用的需要.

(2) 蓄热型换热器

蓄热型换热器借助于高温气体加热热介质,利用其显热和伴有相变的潜热来加热低温气体,主要有固定床、移动床和流化床.在固定床中,高温气体和低温气体依靠换向阀的切换,交替地流过蓄热型换热器中的固定型热介质,如蓄热室、热风炉和卵石加热器等.在移动床中,两种气体分别流过不同的通道,热介质连续地移动并进行换热,如回转式空气预热器、多级流动层式换热器等.在流化床中,经竖烟道上升的高温烟气首先加热逆向流动的中间载热体,这些炙热的颗粒经下溜槽,落进热交换器,被鼓入的冷风“提升”到分离器,经上溜槽又回到竖烟道中重复使用.在热交换器中,以气力输送形式进行空气和载热体间的热交换,从而使空气获得高温.高温流化床换热器也有采用多流化床系统的.颗粒型蓄热换热器的使用温度可在 1300℃以上,其总传热系数比一般金属换热器和陶瓷换热器高达 10 倍,被认为是新一代高温高性能换热器.

(3) 喷流式换热器等

喷流式换热器是根据冲击对流传热原理设计的,由于气流垂直冲向热交换面,与一般预热器气流顺器壁流动形式相比,热交换强度很大,具有结构紧凑、用料节省及传热效率高的优点.其缺点是空气侧和烟气的阻力都较大,必须强制排烟.如果炉子没有引风设备,只能采用空气侧喷流,其烟气侧靠辐射,虽传热系数降低,但仍能收到良好效果.

2. 管壳式换热器

在余热梯级利用中,适用范围广且耐用的管壳式换热器列于高温换热器之后.主要类型有普通钢管换热器、小口径光管换热器、多种折流板式换热器、折流杆式换热器、钛制或锆制耐蚀换热器、扩面管(如低翅管、内翅管)换热器、异型管(包括环槽管、绳纹管、旋涡管等)换热器、表面微细管式(如沸腾管、冷凝管)换热器等.除表面微细管式换热器部分产品外,对以上各种壳式换热器机械行业的有关单位均有成熟的技术,有一定的批量生产能力,可满足各行业的需要.国内开发了多种表面微细管,有的性能达到国外水平,已经过试用.

3. 板式换热器

板式换热器主要有平板式、板翅式和螺旋式。平板式换热器可通过改变平板的数目来增减换热面积,传热系数高、重量轻,具有换热器内滞留液少和容易清扫等优点。板翅式换热器用于低品位余热的回收。螺旋板式换热器采用两股螺旋流道,可布置成纯逆流,有自清洗功能,容易制造,在小型低压领域可取代管壳式。其缺点是工作压力有限($<2\text{MPa}$),承受温度不高。

4. 其他换热器

热管换热器由热管组成。热管的工质从氨、氮直至液态金属;深冷时,采用氨和氮作工质;普冷时用氟里昂、烷、醇等;50~250℃采用水;250~400℃用道氏 A 有机工质;更高的温度用低熔点金属(如钠);陶瓷热管可在 1000℃工作。导热油循环载热管束实际上为热管的简化,可靠、高效、成本低、易大型化,国内已使用,400℃以下使用导热油和碳钢管束,500℃时用导热熔盐和铁素体不锈钢管束。另外,还有无换热面的直接接触式换热器,实现显热和潜热同时交换的全热换热器等。

三、余热锅炉

余热锅炉是设置在各类工艺流程中,回收余热以提高整个装置热效率,从而减少一次能源消耗的一种节能设备。它不但节约能源,而且对提高流程的质量,减轻公害和满足某些工艺要求,起着十分重要的作用。余热锅炉热回收对象,最普通的是工艺气体、烟道气体等的显热,以及固体余热交换后的排气显热、固体辐射热等。按工艺原有设备的性质,余热锅炉可分两类:一类主要是对工厂生产过程中的气体进行冷却,满足工艺要求;另一类主要是为节能进行的热回收。余热锅炉按水循环方式可分为自然循环与强制循环。从联合循环应用趋势看,自然循环是一种更可取的技术。余热锅炉按气体通道可划分为火管式和水管式。按换热形式划分,余热锅炉可分为辐射和对流。

在以动力回收为目的的系统中,还采用多压余热锅炉,如双压与三压余热锅炉,来提高发电效率。采用多压余热锅炉技术可更有效地回收排气余热,由于多压,吸热线与放热线能够更好地匹配,减少了传热的不可逆损失,回收的焓值高,构成的循环效率高;另一方面,由于节点的改变,减轻了单压余热锅炉中节点对热回收的限制,使回收的热增多。随着压力等级的增加,尽管回收的热量几乎不增加,但回收的焓增加,发电量增大。

美国从 50 年代开始研究用于回收钢铁工业余热回收的余热锅炉,此后相继开展了用于回收其他行业余热资源的余热锅炉研制,积累了大量的经验。美国已制造并运行数十台热管余热锅炉。用于燃油、气和煤的联合循环的无补燃、补燃和全燃的单压、双压、三压和再热或不再热的余热锅炉已商业化。日本已研制推广用于各种余热源的多种型号的余热锅炉,并已成批制造热管式余热锅炉。日本干法熄焦余热锅炉,已成为钢铁企业中实用化节能效果显著的高温余热回收设备。现在,余热锅炉已向高参数和全部用于发电为主要目的的方向发展。我国已开发并制造出用于冶金、化工、建材和轻纺等行业的余热锅炉。但综观余热锅炉成套产品的技术水平,与国外先进的同类产品相比尚有一定差距,尤其是自控