

余热发电技术

钟桂龙(杭州余热锅炉研究所)

〔摘要〕 余热发电近年来在世界各国迅猛发展。本文介绍了国内外各工业部门的余热发电技术,旨在促进我国的余热发电技术的发展。

关键词 余热发电 述评

1 前言

当前,我国的生产用电和生活用电严重短缺。大力推广余热发电技术,是缓解用电紧张状况和提高能源利用率的一项行之有效的措施。

余热是指热设备或系统在满足工艺条件、保障产品质量前提下的可回收热量。人们对利用工业、农业和生活废物的锅炉和设备,常称作余热锅炉和余热利用设备。余热利用设备常用于供热、供电或热电联供。

这里介绍世界一些工业领域中余热发电的概况。

2 黑色冶金工业余热发电

2.1 干法熄焦余热发电^[1]

至1983年末统计,在日本5家钢铁公司的59座焦炉中有16座配备了干法熄焦装置,在其焦炭总生产能力中,干法熄焦占30%左右。

日本干法熄焦装置(CDQ)余热回收技术是成熟的。初期,CDQ余热锅炉产生的蒸汽大多用于生产方面,其压力为1.96~3.96兆帕。近年来,余热锅炉大多以发电为主,并为高温高压。如新日铁室兰钢铁厂的CDQ余热锅炉,压力为6.27兆帕,蒸发量为40吨/时,过热蒸汽温度为490℃。名古屋钢铁

厂的CDQ,焦炭处理能力为110吨/时,余热锅炉压力为11.47兆帕,蒸发量为50吨/时,过热蒸汽温度为525℃。

2.2 烧结矿显热发电

烧结过程中热量的支出很大,据日本扇岛钢管厂数据,每吨烧结矿的热耗约为2495兆焦,冷却废气的显热约535.5兆焦,烧结废气的显热约696.7兆焦。日本在利用烧结余热发电方面,已取得了较大的进展。

新日本炼铁八幡炼铁厂的第一号烧结装置,1979年开始运行,从烧结冷却机排烟(约350℃)获得250℃、约4.9兆帕的高温高压热水送往热水透平发电*,能量的回收效果是3988千瓦/时,每吨烧结矿的电力回收量达到3.5千瓦。

君津炼铁厂锅炉工质为氟乙醇85,产生的蒸汽温度为297℃,压力4.02兆帕,用于发电,机组出力为12500千瓦。

2.3 高炉渣显热发电

钢铁产量较高的国家,每年产生高炉渣可达数千万吨,如日本为2700万吨,法国为1500万吨,西德为1700万吨,美国和苏联则更多。高炉渣的温度一般为1400℃左右,每吨渣含有167.5万千焦的热量。为节约能源、减少热污染,并提高经济效益,上述国家正在进行高炉渣余热发电技术的开发研究。

* 热水透平是介于水轮机和蒸汽透平两者之间的一种动力设备,通常采用赖伐尔喷嘴,将热水和热水扩容蒸汽一起喷出,大大提高透平的内效率。详见“日本机械学会志”第33卷745号1523~1534。

2.4 余热联合发电

日本钢管公司京浜炼铁厂提出了余热联合发电系统的技术方案。基本点是将CDQ余热锅炉、烧结矿冷却锅炉、热轧加热炉余热锅炉、开坯均热余热锅炉等余热锅炉所产生的蒸汽并入厂自备火电厂的蒸汽管网中，并增设中压参数的汽轮机发电机组。这样可发电2万千瓦，并可供工艺用汽100~150吨/时，其经济效益高于其它余热发电方案。

2.5 低品位余热发电^[2]

2.5.1 低压透平发电

苏联一些钢铁厂因压力太低(0.12~0.25兆帕)而找不到用户的蒸汽，竟多达20~100吨/时。为解决这个问题，苏联提出了两种方案，一是用压缩机，特别是透平压缩机来压缩蒸汽，使其压力提高到有用值0.8~1.2兆帕；二是利用低压透平发电。莫斯科动力研究所确信，采用特种透平使用低压蒸汽发电在许多情况下是合理的。

苏联有人提出制造初压0.2~0.5兆帕，余热蒸发量60~100吨/时，功率6~12兆瓦的余热发电装置，按年利用2000~3000小时及发电成本1~1.5戈比/(千瓦·小时)计，装置的投资回收期仅为3~5年。如蒸发量大于150吨/时，初压0.5兆帕，年利用4000~6000小时，发电成本则不到0.5戈比/(千瓦·小时)时，装置的回收期仅为2~3年。

2.5.2 低沸点工质余热发电

日本正在积极研究和开发中、低温余热源的低沸点工质余热回收发电系统的技术设备。新日铁君津炼铁厂已开发研制出能经济地回收中低温余热的F-850RCS发电技术。这一设备于1981年10月投运，是当今世界上利用低沸点工质发电的最大设备。该发电系统的主要设备余热锅炉是直流锅炉，蒸发量为381吨/时，配置单汽缸反动式汽轮机，最大输出功率为16400千瓦，最高使用温度为295℃，余热锅炉的进口烟气温度的295~

395℃。

日本住友金属矿山公司和川崎重工业公司联合研究开发了热水发电的新技术，即用氟利昂作为工质，其汽轮机功率为2200千瓦。

美国从70年代着手开发研究低沸点工质余热回收发电系统。目前采用这种节能技术回收中、低温余热的发电设备已商品化，单机容量达5万千瓦。其缺点是投资费用高。

2.6 各种煤气发电^[3]

钢铁生产过程中产生的大量副产品煤气主要用于发电。日本的钢厂均如此。

3 有色冶金工业余热发电^[4]

我国对这一领域的余热发电已作了一些工作，并已取得初步的成绩。例如，广东省石菴铜矿冶炼厂有一座90米²的熔炼铜反射炉，年产粗铜10000~12000吨，排烟量30000~35000标米³/时，烟气温度的1300±20℃。未装设余热锅炉前，烟气采用喷水降温到380℃左右，不但造成(62.06~72.06)×10⁶千焦/时的热量白白浪费，而且污染环境，腐蚀设备，造成年经济损失120~160万元。

1983年杭州锅炉厂设计制造了一座功率为3000千瓦的余热锅炉，年发电量为1380万度，向外输出电量为1214.4万度，按设备使用期10年计算(一般电站锅炉为20年)，其经济效益为174.34万元/年。

4 水泥炉窑余热发电^[6,7]

4.1 瑞士^[6]

一家日产1600吨水泥的水泥厂，有一台带4级悬浮式预热器的炉窑，虽其排烟含有大量的烟灰，但其排烟热仍可转换成有用的电能和热能。这台热回收系统于1981~1982年安装在瑞士恩塔伐兹水泥厂，它是由瑞士苏尔寿公司提供的。该系统包括一台余热锅炉，一台凝汽式汽轮机发电机组和辅助设

备。汽轮机功率1000千瓦,进汽参数0.7兆帕和290℃,3000转/分。

4.2 美国

美国Alpenl水泥厂于1973~1978年期间先后建成了5套汽轮机发电机组,其容量为5000~12500千瓦。该5套机组的蒸汽由9台余热锅炉供给。余热锅炉参数为:蒸汽压力1.37兆帕,过热蒸汽温度288℃,进口烟气温度816℃,排烟温度205℃,每台锅炉都配备自动吹灰器。

该厂余热发电站平均每年生产电力3100万千瓦小时,发电成本约为向供电局购买电力的25%。

到1980年12月,美国水泥厂每年余热发电约40亿千瓦·小时。

4.3 日本^[6]

为了有效利用熟料冷却机和水泥炉窑的废气余热,水泥工业正在研究开发中、低温(200~400℃)发电系统。

日本住友水泥公司的岐阜水泥厂于1981年2月投运了一套两台1320千瓦机组,该机组利用冷却机余热。此后,日本其它水泥厂也相继安装类似的废气余热发电系统,至今已有17家水泥厂的余热发电系统正在安装或运行。

日本土佐水泥厂的余热发电系统采用两台强制循环余热锅炉(装在5号窑的预热器和冷却机处),一台是经改装过的6080千瓦汽轮发电机组。

4.4 苏联^[7]

苏联已广泛采用重力热管(热缸吸管)来回收利用水泥厂湿法回转炉窑排烟低品位余热。西伯利亚水泥设计科学研究所正在制造用热缸吸管工作的余热锅炉。热缸吸管的主要特性之一是表面的等温性。这种特性有助于余热锅炉蒸发受热面表面的温度工况可靠地保持在给定的范围内。采用两种试剂混合物(乙二醇水溶液)作为载热介质,可选定载热介质的工作温度并使系统在冬季停用

时具有耐寒性。

5 燃气-蒸汽联合循环发电

这是最有实用价值和发展前途的一种联合循环型式。其热力系统有以下几种类型。

5.1 无补燃的余热回收联合循环

这种联合循环系统以燃气轮机为主,利用其排气中的余热在余热锅炉中产生参数较低的蒸汽来驱动汽轮机组发电。在这种装置中,蒸汽轮机出力较低,只占(30~35)%,燃气轮机发电容量占(65~70)%。

5.2 有补燃的余热回收联合循环

在普通燃气轮机中,因入口燃气温度不得超过金属部件允许的最高温度,致使燃料燃烧不得不采用很大的过量空气系数(4~7)。这样燃气轮机排气中一般还有(16~18)%的氧(按体积计),温度在500℃左右,因而可以在余热锅炉中加入燃料进行补燃,通过补燃可提高蒸汽参数,从而提高汽轮机出力和效率。汽轮机功率可提高到占总功率的50%左右。

5.3 排气助燃联合循环

在以蒸汽循环为主的联合循环中,燃气轮机排气送入常规锅炉作为燃烧空气,这不仅使排气热量得到充分利用,而且由于燃气的过量空气系数高达4~7,温度高达400℃以上,供给锅炉的燃料量可比燃气轮机的燃料量多4~7倍,使燃气轮机发电容量可达本系统总发电容量的(70~90)%,热效率可提高(5~15)%。

这种联合循环系统可在普通锅炉中燃用任何燃料,燃气轮机不仅作为发电动力,同时可驱动锅炉送风机。这种大容量的燃气-蒸汽联合动力装置,目前正在联邦德国、法国等国家广泛采用。

5.4 煤气化燃气——蒸汽联合循环

这种装置是在油、气能源日益枯竭的时代里应运而生的。它效率高、无公害,特点是增加了煤的气化-净化装置。先在气化炉

中将煤粉和气化剂混合,通过压缩空气成为流态化并进行气化工工艺过程,最后经过除尘脱硫净化工艺得到低热值增压煤气,供给燃气轮机,燃气轮机再与锅炉和汽轮机组组成联合循环发电装置。联邦德国、美国和日本都正在研制这类联合循环发电装置,但目前带负荷运行的煤气化联合循环电厂却为数不多。

6 城市垃圾焚烧发电^[9,10]

在一些工业发达的国家里,垃圾的利用已与日剧增。据报导,每吨脱水垃圾可发电140~400千瓦·小时。如每小时有20吨脱水垃圾供燃烧,则可建立一个3000~8000千瓦容量的小电站,按每年运行6500小时计算,可供电约3600万千瓦·小时。

法国有34家利用垃圾发电进行生产的企业,它们每年所节约的能量相当于30万吨以上的石油。

西德有42家企业利用垃圾发电和提供蒸汽,其垃圾用量占全国每年生成的2500万吨垃圾的30%。

丹麦有70%的垃圾得到利用。

值得指出的是,在利用垃圾发电和供热工艺方面已取得了最大成绩的是瑞典的WIE公司,该公司的工艺目前已在世界范围内竞相采用,瑞典垃圾利用率高达80%。

7 垃圾沼气发电^[11,12]

垃圾沼气是指垃圾用土壤严密封闭后,由灰氧细菌进行生物分解而产生沼气。大约每公斤垃圾可产生0.19~0.5米³的沼气。

垃圾沼气比现有的许多能源要便宜得多。从1980~1984年,美国、加拿大、西德、南朝鲜、瑞士和日本以填埋、收集、提纯和出售沼气为业的工厂已增到280家之多。由于沼气的用户有限,沼气生产商往往用沼气发电,并将电直接输入当地的电网。

1984年,美国加利福尼亚已有两家沼气

发电厂投入运行。一家容量为1200千瓦,另一家容量为5700千瓦。

目前,日本正在设计一座容量为750千瓦的电站,使用来自东京湾市政垃圾场产生的每天约20800米³的沼气。

西德的布劳恩施魏克垃圾场,每小时产生大约180米³的沼气,除用于发电外,还向附近居民提供热水,其能源利用率大致为83%。

英国也正在打两口垃圾沼气新井,打算用于发电。

垃圾沼气发电有两个缺点:一是腐臭难闻;二是沼气在一定条件下有爆炸的危险,故需考虑防爆措施。

8 玻璃熔炉排烟余热发电^[13]

生产平板玻璃的现代化熔炉,排烟温度为400~550℃,排烟热损失相当于所用燃料发热量的(25~30)%。苏联已有三家玻璃厂的全部平板玻璃熔炉采用排烟余热利用系统并装有凝汽式汽轮机,这些厂可能获得的电力达5000千瓦。

9 碳黑尾气余热发电^[14]

碳黑生产在化工工业中能耗较大。由于碳黑尾气中含CO、H₂和CH₄等可燃性气体,因此国外从70年代起就开始研究、开发碳黑尾气的燃烧和回收余热的技术。

1976年美国大陆制碳公司首先在荷兰的碳黑厂建造了碳黑尾气余热锅炉用于发电。

美国各公司所属的碳黑厂均采用尾气燃烧与余热锅炉分开的型式。尾气在燃烧炉内燃烧后的烟气经过连接烟道进入余热锅炉,受热面是纯对流受热面,故余热锅炉体积较小,且采用半露天布置。

美国大陆制碳公司的一家年产75000吨碳黑的工厂,利用尾气燃烧产汽,使汽轮机发电,发电能力为12000千瓦。

国内于1980年首次为碳黑行业设计,试

制出低热值尾气余热锅炉。现有 QC₁₂、Q₂₂ 两个品种四个规格的尾气余热锅炉产品。其中 QC_{12-10/25-400} 型 10t/h 低热值尾气余热锅炉在苏州碳黑厂于 1982 年 2 月投运,性能良好,运行参数达到设计要求。1983 年被国家经委评为优秀新产品,1986 年被评为浙江省优质产品。该锅炉由杭州锅炉厂制造,压力为 1.28~2.4 兆帕,蒸汽温度为 194~400 °C,是炉膛内直接燃烧型式的余热锅炉。

10 生物物质燃烧发电^[15,16]

美国 1987 年生产燃用生物物质的动力机组两套,总功率为 63 兆瓦;1988 年两套,总功率为 43 兆瓦;1989 年一套,功率为 10 兆瓦。计划 1995 年还将生产一套功率为 357 兆瓦的动力机组^[17]。

杭州锅炉厂曾为泰国南隆米业公司设计制造了一台与 1500 千瓦成套电站设备配套的 10 吨/时燃用稻壳的锅炉。该锅炉采用空间燃烧与链条炉排层式燃烧相结合的燃烧方式,除可燃用稻壳外还可燃烧锯木屑,碎木块以及甘蔗渣等加工废料。据初步估算,投资可在 3 年内收回^[18]。

11 结束语

余热发电是当前提高二次能源利用率,节约能源的一项有效措施,特别对弥补我国电力不足,有着重要的意义。

大量国外余热发电的实践是我国今后根

据国情决策余热利用方向的参考和借鉴。

建议尽快制定对余热发电的鼓励政策,以促进用能单位余热发电的进一步发展。

参 考 文 献

- 1 周中也. 国外机械工业基本情况——余热锅炉. 机械工业出版社, 1986
- 2 Сазанов Б В, Мартынов А В, и т д. Использование низкопотенциальных ВЭР промышленных предприятий. Промышленная Энергетика, 1988.2
- 3 沈新城译. 炼铁煤气综合利用委员会阶段报告书. 钢铁工业余热资源调查专集, 冶金工业部鞍山热能研究所出版, 1988
- 4 韩岷. 石茱钢矿炼钢反射炉余热发电站和余热锅炉. 余热锅炉, 1985 (1)
- 5 Theodor A Lang, Philip Moaimann. The production of electrical and thermal energy from the exhaust gas heat of preheater kilns. IEEE, Transactions on Industry Application, Vol IA-20, No.3 May/June, 1984
- 6 王德宏译. 余热发电系统. 能源利用, 1987 (6)
- 7 Вергопрахов А Г, Богомолов Б Н. Утилизация низкопотенциальных вторичных энергоресурсов. Цемент, 1987.9
- 8 董树屏等. 热能转换及利用. 余热发电, 机械工业出版社, 1985
- 9 颜振达. 垃圾电站介绍. 能源利用, 1987 (6)
- 10 钟桂龙译. 火电发电厂回收生活废物. 节能, 1989 (6)
- 11 寿保健译. 垃圾的利用. 能源, 1989 (1)
- 12 祁国平. 国外重视利用填埋气体获取能源. 新能源, 1987 (7)
- 13 钟桂龙译. 利用玻璃熔炉排烟余热, 产生具有动力参数的蒸汽. 余热锅炉, 1980 (3)
- 14 吴亦三, 龚经炎. 碳黑尾气余热锅炉水平分析. 余热锅炉, 1987 (2)
- 15 钟桂龙译. 美国、日本和西德建造有机燃料发电厂的发展前景. 锅炉技术, 1989 (9)
- 16 周红钰. 10t/h 燃用稻壳锅炉概述. 余热锅炉, 1987 (1)

(孙显辉 编辑)

Waste-Heat Electric Power Generation

Zhong Guilong

(Hangzhou Waste Heat Boiler Research Institute)

Abstract

Recent years have seen a dramatic world-wide development of waste-heat based electrical power generation. This paper describes the present status of electrical power generation based on the use of waste heat in various industries both at home and abroad with a view to further improving its performance in China.

Key words: waste-heat power generation