

78.52
HG7

78.52
HG7

《国外机械工业基本情况》参考资料

余热锅炉

杭州锅炉厂余热锅炉研究所 编

第一机械工业部技术情报所

内容简介 本书为《国外机械工业基本情况》的余热锅炉部分，主要介绍了国外余热利用和余热锅炉在电力、冶金、化工、造纸、建筑等工业中应用的经济效果；各国余热锅炉及蒸汽联合循环装置的发展、结构特点以及在制造和应用中应注意的若干技术问题。可供锅炉制造行业及应用部门的科研人员、教学工作者参考。

余 热 锅 炉

杭州锅炉厂余热锅炉研究所编

(内 部 资 料)

*

第一机械工业部技术情报所编辑出版

北京印刷二厂印刷

中国书店（北京琉璃厂西街）经售

*

1980年1月 北京

代号：79—31 • 定价：1.32元

出 版 说 明

以华主席为首的党中央向全国人民提出了新时期的总任务，全国从上到下一心一意搞四个现代化。机械工业要适应“四化”的要求，必须为国民经济各部门提供现代化的技术装备。为此，需要研究和学习国外机械工业的先进技术和经验。在这种形势下，我们组织有关单位编写一套《国外机械工业基本情况》参考资料。这项工作第一次开始于1973年，1975年基本完成。这次是第二轮，在内容和范围上都比上次有所充实和扩大。

这套参考资料按专业分册出版。本书为余热锅炉部分，主编单位是杭州余热锅炉研究所，参加编写单位有合肥通用机械研究所，主要执笔人员有吴元新、麦春生、林文彪、唐学斌、徐馨生、吴亦三、韩岷、周明钰、杨亦农以及合肥通用所柯立姍同志等。

第一机械工业部技术情报所

目 录

第一章 余热和余热锅炉的应用	1
第一节 能量的利用和余热资源	1
第二节 各国余热的利用	2
第三节 总能系统和余热利用	4
第四节 余热锅炉在余热利用中的地位	5
第二章 黑色冶金工业余热锅炉	8
第一节 概况	8
第二节 干法熄焦装置及余热锅炉	10
第三节 平炉的余热利用与余热锅炉	18
第四节 转炉余热锅炉	26
第五节 其它余热锅炉	37
第三章 有色金属余热锅炉	44
第一节 有色金属冶炼炉的烟气特性和余热锅炉	44
第二节 有色冶金炉后的余热锅炉	45
第三节 有色冶金炉用余热锅炉的设计经验	62
第四章 硫酸余热锅炉	75
第一节 概述	75
第二节 含硫矿石制酸的余热锅炉	76
第三节 硫磺制酸余热锅炉	84
第五章 燃气轻机余热锅炉及其联合循环	88
第一节 余热锅炉在燃气——蒸汽联合循环中的应用	88
第二节 余热锅炉在燃气轮机热回收循环中的应用	95
第三节 余热锅炉的型式和构造特点	99
第四节 余热锅炉的设计	106
第六章 玻璃制造工业的余热锅炉	112
第一节 概述	112
第二节 玻璃熔窑的余热利用方式	112
第三节 玻璃工业用的余热锅炉	116
第四节 玻璃余热锅炉的选型及其有关事项	123
第七章 造纸工业碱回收余热锅炉	127
第一节 碱回收余热锅炉的发展	127

第二节	碱回收余热锅炉设计、制造和运行经验	133
第三节	碱回收余热锅炉的腐蚀、爆炸和臭气问题	139
第八章	合成氨余热锅炉	146
第一节	概述	146
第二节	合成氨装置的余热锅炉	147
第三节	其它型式的余热锅炉	157
第四节	合成氨厂余热锅炉的主要技术问题	161

第一章 余热和余热锅炉的应用

第一节 能量的利用和余热资源

各国工业部门是消耗能量的主要部门。例如，美国工、商业的能耗占全国总能耗的54%〔1〕；日本电力和其他工业的能耗，约占其总能耗的58.6%。而在能量消耗中，燃料的热能利用系数很低，一些国家最先进的利用系数也只有60%左右，其余约40%以上的热量则以余热的形式释放了。自1973年发生世界石油危机以来，各国除加快新能源的研究和开发外，皆订有节约能源、提高能源利用效率的措施和计划，其中余热的回收和利用，是重要的项目之一。

余热也有称之为二次能源的〔2〕，在工业生产中是以下列形式存在的：

高温烟气的余热——各种冶炼炉和加热炉的排气。

可燃废液和随高温废气排走的可燃气体所产生的燃烧热——如纸浆黑液、炼油厂催化裂化流程产生的含一氧化碳的高温废气等；

化学反应生成热——如乙烯裂解产物的温度约为850℃，经过急冷降温至300℃左右，而放出大量余热；合成氨流程中的变换气也有大量余热；

高温产品和炉渣的物理热——如炼焦炉的炽热焦炭、轧钢厂的钢坯等都带有大量物理热；

其它——如燃气轮机排气热量、各种高温炉体冷却时所产生的热量和工厂废水废气带出的物理热量。

上述各种余热量很大。按日本的统计，钢铁工业可回收的余热约50%左右(见图1-1)〔4〕。

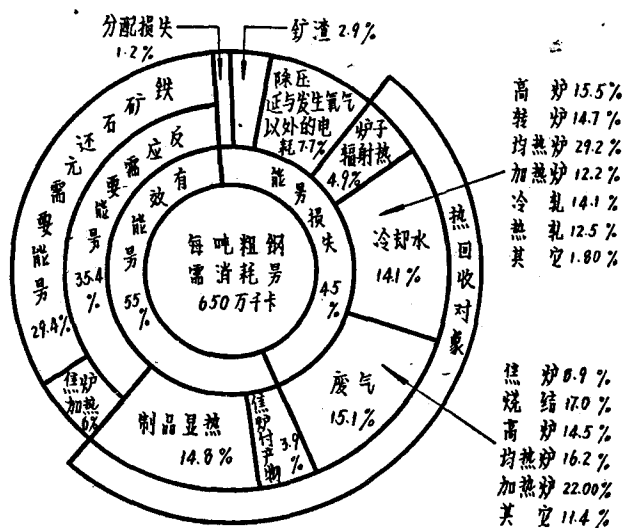


表1-1 钢铁厂能量消耗

出售副产品	3.9%
其它	1.2%
发电损失	7.7%
废气	15.1%
冷却水	14.1%
炉体散热	4.9%
成品显热	14.8%
熔渣显热	2.9%
冶金反应	35.4%
合计	100%

图1-1 钢铁厂的能量利用

按估计〔3〕, 日本1973年粗钢产量为1亿2千万吨, 每吨粗钢需耗热量 $6,170 \times 10^3$ 大卡, 而其中作为余热放出的约为51.8% (见表1-1)。一年总余热热量达 3.84×10^{14} 大卡, 相当于重油3,840万吨, 或每小时排出4,800吨重油; 可用于产生65,000吨/时的蒸汽, 相当于65个30万千瓦发电厂锅炉的蒸汽量。

美国的钢铁工业每年使用的焦炭量约为8千万~9千万吨, 由炼焦炉送至钢铁厂时, 红热的焦炭放出的显热相当于300万吨石油的热量〔5〕。

1965年〔2〕, 苏联的钢铁、有色冶金、石油、造纸及化学工业所放出的余热, 约相当于7千2百万吨标准煤的热量, 而1970年则相当于8千5百万吨标准煤的热量。

日本的33万吨/年乙烯流程输入热量共计 358×10^6 大卡时, 但放出的余热却达 201.7×10^6 大卡/时, 即占输入热量的56.3%〔6〕。

从以上情况可以看出, 工业领域中利用余热的潜力很大。

第二节 各国余热的利用

1920年在德国胡许 (Hoesch AG) 的威斯特法伦 (Westfalen) 钢厂的煤气机后装设了一台12大气压的余热锅炉。其后在洛林 (Rochlingschen Eisen-und stahlwerk) 钢铁厂的煤

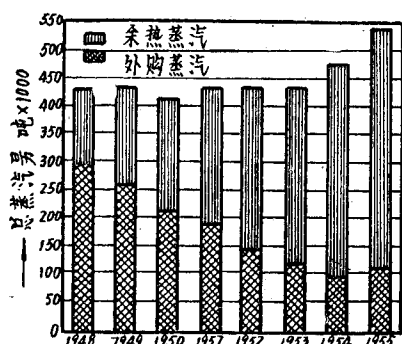


图1-2 历年的蒸汽量的组成百分比

气机、平炉、轧钢加热炉等设备后均装设了余热锅炉。从该厂1948年至1955年的蒸汽量的组成情况 (见图1-2), 可看到〔8〕, 余热产生的蒸汽量在全厂总蒸汽产量中所占的比重愈来愈大。威斯特法伦钢厂在装设了余热装置后获得很大的经济收益, 如1953年在煤气机后装设的三台余热锅炉, 共耗费投资950,000马克, 平均每年可产蒸汽95,000吨, 且每吨蒸汽的成本比一般锅炉低8马克, 每年节约760,000马克, 即一年多就回收了成本。该厂在8台平炉上装设的汽化冷却装置与余热锅炉, 每年生产70万吨蒸汽, 每吨蒸汽的成本比一般锅炉低6马克, 因此, 每年可节约420

万马克, 整个热回收装置的投资, 经一年多就回收了成本。该厂的推钢式加热炉与均热炉, 所装设汽化冷却装置与余热锅炉的经济效果很大, 如推钢式加热炉每年可节约482,000马克, 再加高炉汽化冷却等余热回收设施, 使整个冶金工厂的余热蒸汽达全厂总蒸汽产量的40%。

西德的莱宁公司 (Reining) 设计和制造的汽化冷却系统, 除装备西德的许多冶金炉外, 还销售到法国、意大利、瑞典、捷克、墨西哥等12个国家〔9〕。

近年来, 在石油危机的冲击下, 西德政府所订的能源规划, 强调了余热的利用; 对1977年的余热利用的具体项目, 拨出经费6.8亿马克; 对西柏林再补拨5千万马克〔10〕。

苏联安装的余热锅炉, 1950年为4台, 1967年达268台 (最大蒸发量达到40吨/时), 每年节约相当于2.2百万吨标准煤的能量。至1967年为止, 苏联黑色冶金工业已装设395套汽化冷却装置 (其中9套装设于高炉, 295套装设于平炉, 66套装设于加热炉, 23套装设于高炉空气加热炉换热器等)。1966年这些汽化冷却装置节约了相当于95万吨标准煤的能量〔11〕。在1966—1970年中〔2〕, 利用平炉的二次能源所节约的热能, 从每年节约202万吨标准煤, 提高

到240万吨标准煤的水平。轧钢工业的余热利用,从每年节约64万吨标准煤提高到97万吨标准煤的水平。1970年^[12],苏联利用三次能源总共节约900万吨标准煤的能量。1975年依靠工业中二次能源利用的综合热平衡,减少了浪费,使能量的节约量达到了每年1500万吨标准煤。截至1975年,苏联已经装设各种热回收装置2800台^[12]。在1971—1975年间,苏联装设了91台余热锅炉,57套冶金炉汽化冷却装置,改建了143台余热锅炉和81套汽化冷却装置。1976~1980年还拟装设173台余热锅炉和106套汽化冷却装置,并准备改建约150套各种余热利用装置,再使余热锅炉向大型化发展,如干法熄焦装置余热锅炉将采用KCT-400型(~100吨/时蒸发量),新型平炉余热锅炉KY-150B(~30吨/时蒸发量)等^[13]。通过上述措施,至1980年,每年可从二次能源中,将节约2740万吨标准煤,为1975年的1.8倍^[12]。

苏联首先将大型干法熄焦流程,应用于炼焦工业,而回收了大量由于炽热焦炭冷却时放出的热量。至1975年为止^[2],苏联从干法熄焦流程就回收了70~90万吨标准煤的能量。

苏联通过对二次能源的利用,发现余热锅炉一般经2~3年就可回收其全部投资;从二次能源中节约一定吨数标准煤所需投资的设备费,仅为生产和运输这些数量燃料所需投资的1/3~1/6^[2]。

美国的英兰(Inland)钢厂1961年装设了55台余热锅炉,生产蒸汽的总量达到1,070,000磅/时(~485吨/时),其中20台为火管锅炉,35台为水管锅炉。1971年杨斯堂(Youngs town)钢板钢管公司的印地安那·哈堡(Indiana Harbor)厂,也装设17台余热锅炉^[14]。美国伯利恒钢铁厂于1954年前装有36台余热锅炉。

在五十年代,美国凯乐格(Kellogg)公司以三十万吨大型合成氨新流程(变换与合成工艺)中释放的反应热,用于余热锅炉以产生蒸汽,驱动大型压缩机与各种泵类,使每吨合成氨仅需外购34度电^[15]。而一般中、小型合成氨流程则每吨合成氨需外购1~2千度电。

美国的炭素制造业1966年利用余热回收到相当于1,550万吨煤的热量^[16]。从1966年起,美国的主要石油公司都将炼油废气送入余热锅炉,每天节约燃料费3000美元^[17]。

美国的阿拉斯加(Alaska)造纸厂以树皮与纤维代替正规燃料,每年节约燃料费200万美元^[17]。在石油危机中,美国的造纸工业更多以造纸黑液与树皮来代替石油和天然气等燃料,1971年美国的造纸工业利用造纸黑液与树皮提供了总能量的35.3%,1976年将达到总能量的39.1%。

美国奥克拉荷马(Oklahoma)煤气电力公司的Belle Isle电站,首先实现了高温排气的燃气—蒸汽联合循环,使电站总效率由25%提高到39.7%左右^[18]。

1973年起日本工业界制订节能计划,并设法大量回收工业余热。例如,日本1977年^[19]度大型投资的预算案中,用于发展余热利用技术系统的投资,从1976年度的7800万日元增加到1977年度的27,700万日元。

日本钢铁工业的余热利用,有转炉后的煤气与其显热的回收以及以未燃法(OG法)回收余能。至1977年,日本已装设了60套^[21]。各钢铁厂正在设法充分利用副产的高炉煤气与焦炉煤气^[22]。日本21个钢铁厂的1972年度的高炉煤气利用率达到96.1%,焦炉煤气的利用率达到99%。日本钢管公司于1971—1972年间对苏联、西欧的干法熄焦装置进行详细的调查后,1972年从苏联引进了全套干法熄焦装置,装备了日本钢管公司京滨制铁所的扇岛炼焦厂中最大的焦炉。1976年第一期工程投产,即通过利用余热供应京滨制铁所30%的蒸汽量;全面完工后,将供应京滨制铁所70%的蒸汽需要量^[20]。

日本丸善石油化学公司的33万吨乙烯设备中,以急冷余热锅炉生产的245吨/时蒸汽,作为裂解气压缩机(26,000瓩)丙烯压缩机(22,000瓩)、乙烯压缩机(4,990瓩)等动力用蒸汽外,还从汽轮压缩机中抽出中、低压蒸汽供各处的泵作驱动动力用,使全系统中动力达到平衡,全系统所需蒸汽达到完全自给^[6]。

此外,英国的钢铁工业所订节约能源消耗的规划,拟在1975年~1980年,节约总能量消耗的10~12%^[23]。1972年以来,英国引进了苏联的全套干法熄焦装置,以及西德的莱宁汽化冷却装置^[24]。加拿大钢厂的二台钢坯加热炉配有余热锅炉与空气预热器,在适当的补燃下,每台锅炉的产汽量从无补燃时的80,000磅/时(~36吨/时)增加到160,000磅/时(~72吨/时),节约燃料油1,180加仑/时,余热锅炉后的空气预热器又节约300加仑/时的燃料油^[32]。

综上所述,各国都在积极开展以节约燃料为目标的余热利用工作,并已获得很大的经济效益。

第三节 总能系统(The total energy system)和余热利用

近年来,国外从二次能源的利用以及提高一次能源的利用率出发,而引出了“总能系统”这一新名词。

现有蒸汽轮机、内燃机等带动的发电机组效率很低,约为25~40%。特别是燃气轮机排气的温度高达450°C以上,约占燃料热能的60%以上。当燃气轮机配以余热锅炉和供汽的背压蒸汽轮机,则整套机组的热效率可提高到86%^[26]。从一个使用燃料的系统中,尽力提取最大数量、且经济有用的电能与热能,以满足整个系统用电和用热的需要,就是“总能系统”的狭义概念^[27]。

在美国,首先把“总能系统”用于燃气轮机的系统设计,经济效果很好;凡是按“总能系统”设计的系统,可以大大减少排出热气体中的 NO_x ,并使排出的气体热量不致破坏周围环境。现有0.3%以上发电设备已采用“总能系统”的设计。在荷兰,1972年已有2%发电设备采用了“总能系统”的布置^[27]。

“总能系统”进一步提高了余热利用的重要性。因为余热回收的总量,对“总能系统”的经济性影响很大。“总能系统”要求在一个工厂或一个地区考虑其能量需要时,同时考虑电能与热能的需求。所以,欧洲大陆各国把“总能系统”称为电—热平衡或电—热结合^[28],即余热不能再被看作是再利用的对象,而要求整个工厂或地区的规划设计,把用电与用热的需求全面平衡,充分发挥所有余热的潜力。在“总能系统”中,余热是直接影响到最有效地利用燃料热能的重要因素,即根据“总能系统”的概念,来规划工厂或地区的能量供求,可提高燃料的有效利用率,使余热充分得到利用。

日本对“总能系统”广义的概念所作的设想认为^[19]:既然“总能系统”对经济利用燃料和改善环境污染都是好处很大,则应由整个国家把能源的应用技术(如太阳能、煤的气化、地热能、核能、磁流体发电、超电导送电等)与环境污染问题(如大气污染、热污染、水污染等)全面结合起来加以考虑,促进各种能源充分发挥其应有的作用,并减少对环境的污染。在这一广义的“总能系统”概念里,余热利用范围更大,即在应用任何新能源时,都必须同时考虑其所放出的余热,使其既不损坏人类生活的环境,又有利于生产和生活。

第四节 余热锅炉在余热利用中的地位

为了更有效的回收余热,各国对余热回收的方式与设备作了很多分析与比较,指出:利用余热锅炉回收高温烟气的余热,以产生蒸汽,是最经济、最有效的途径^[1、2、7]。它的重要作用是:

一、节约能源

用余热锅炉利用余热和节约能源,比其它热回收设备更有效。对一台200吨连续钢片加热炉,以空气加热器与余热锅炉回收热量的效果比较如下^[7]:

200吨连续加热炉耗热: 45×10^4 大卡/时

200吨连续加热炉燃料消耗量: $9,000 \times 10^4$ 大卡/时

用空气加热器预热空气至 300°C 回收热量: 980×10^4 大卡/时

用余热锅炉产生35公斤力/厘米², 350°C ,
蒸汽35吨/时回收热量: 2.560×10^4 大卡/时

由此可以看出,当空气预热温度不很高时,利用余热锅炉回收余热效果较大。

英国牛顿·剑勃斯 (Newton Chambers) 工程公司提出,炼焦炉为150万吨/年的炼铁厂,利用干法熄焦余热锅炉回收余热,连同提高焦炭利用率在内,每年可节约300万英镑^[29]。

苏联平炉配用余热锅炉的经验证明,大型或中型平炉的余热锅炉,每年可节约5,000~8,000吨标准煤^[30]。

二、工艺流程要求

现代余热锅炉是很多工艺流程不可缺少的关键设备。例如:在乙烯裂解流程中,裂解炉出口的裂解气要求在极短时间(0.05秒以内)由 $850 \sim 920^\circ\text{C}$ 的高温迅速冷却至 350°C 左右,而必须由余热锅炉来完成,并可产生大量的高压蒸汽。

在凯乐格三十万吨氨/年合成氨流程中,二段转化炉出口工艺气温度为 1006°C ,而进入下一步高温变换炉要求气温在 370°C 左右;依靠余热锅炉完成降温的过程,并控制温度。同理,高温变换炉出口工艺气温度为 428°C 左右,在进入下一个低温变换炉前,为了保护低温触媒,又要求工艺气控制在 $212 \sim 214^\circ\text{C}$ 间,也要由余热锅炉来完成^[31]。

三、提高产量

为了提高平炉的热容量,缩短熔炼时间,以增加钢产量,苏联增设了排烟引风机^[30],使钢的年产量增加5~10%。若不装设余热锅炉,则平炉的排烟温度太高,无法使用引风机。

英国的J.B公司的发电用燃气轮机,功率为2.3万千瓦,排气温度高达 450°C 以上;在排烟道中设置余热锅炉,辅以适当补燃,则可再增加一台1.2万千瓦汽轮发电机组。

四、减少公害

平炉吹氧后,粉尘浓度达到35克/米³,吹氧转炉甚至达到 $120 \sim 250$ 克/米³^[32]。对周围环境污染严重。但平炉与转炉的排烟温度很高,不能直接用除尘器,必须用余热锅炉降低排烟

的温度,达到除尘器允许的范围,才能有效地进行除尘。炼焦厂在采用湿法熄焦时,由于冷水喷洒在炽热焦炭上,产生大量 CO 气,在离熄焦场 5 公里以外的大气中,CO 毒气的含量还超过规定标准的 5 倍。国外以干法熄焦,用余热锅炉来冷却热焦,以消除大气的污染。

由于余热锅炉广泛的应用,故设计和制造的厂商很多,主要有:美国勃白葛·威尔柯克斯(B&W)公司;燃烧工程公司(C.E),福斯特·惠勒(Foster Wheeler)公司,克莱顿(Clayton)公司等,日本的三菱重工业公司、石川岛播磨重工业公司、川崎重工业公司、日立公司等大型制造厂和田熊工厂、荏原工厂等中小型锅炉厂、英国的勃白葛公司、西德的斯密特工厂、莱茵钢厂、VKW 公司、芬兰的坦姆波拉(Tempella)公司、奥地利的瓦格纳·皮罗(Waagner-Biro)公司、苏联的别尔戈罗德锅炉厂(BK3)等。其中日本的川崎重工业公司还设有余热锅炉设计部,石川岛播磨重工业公司则设有特种锅炉事业部,专门进行余热锅炉的研制工作。

参 考 文 献

- [1] Thomas C Elliott "Challenge of today: Saving energy" Power 1973 N8 P. 23—27
- [2] S. I. Veselov 等 "The problems of efficient of the secondary power resources utilization in the Soviet Union" 8th World Energy Conference 1971 Bucharest
- [3] 藤井幸雄 "热回收のための废热ボイラとその经济性" 燃料及燃烧, 1976 V43 N7p.
- [4] 大久保康雄 "热回收" 热管理と公害 1974 V26 N9 P. 59—65
- [5] "PEC enters energy Conservation market-dry Coke quenching" Iron & steel Engr. 1977 N7 P. 73—74
- [6] 林喜世茂 "石油化学工业にみる省エネルギー热管理技术の针路" ケミカル・エンジニアソング 1976 N6 P. 28—31
- [7] 丸冈芳树 "省エネルギーのための排热回收技术" 热管理と公害 1974 V26 N6 P.46—50
- [8] Engen Pracht "Werkserfahrungen beim Umstellen der Dampfversorgung auf Abhitze-und Heißkühlanlagen in einem Huttenwerk Stahl n. Eisen 1976 V76 N19 P.1224—1229
- [9] H. Westerhoff "The Reining System of Hot cooling" Iron and steel 1972 N12 p.655—659
- [10] 西德政府能源规划 1977 上锅所
- [11] Энергетика черной металлургии за 50 лет. Советской Власти" Сталь 1967 N10 P.969—974
- [12] С. П. Сушон "Рациональное использование Вторичных Энергетических ресурсов-Важная задача десятой пятилетки" Пром. энер. 1976 N10 P.2—4
- [13] А. П. Егорицев "Технический прогресс, повышение Эффективности и качества работы энергохозяйств черной металлургии В 10-й пятилетке" пром. энер. 1976 N7 P.41
- [14] W. M. Douglas "Waste Heat Boiler Applications at Inland Steel Co." Iron & steel Engr. 1961. N9 P.183—187
- [15] "概况与材料" 日本引进三十万吨合成氨 上海化工设计院
- [16] 沟渊泉 "排热ボイラ" 热管理と公害 1974 V26 N6 P.59—64
- [17] R. E. Zimmerman "Waste Heat Recovery Boilers Harness Exhaust Bth's" plant Eng. 1966 N4 P.158—159.
- [18] Tomlinson L. O. "Comparing Combined Cycle plants" Gas turbine International 1972 N11—12
- [19] 工业技术 1977 V18 N3 P.13—17
- [20] 伊泽哲夫等 "NKK—ライセンスイントルグ 式 CDQ (コークス干式消火) 设备とその 操业" 日本钢管技报 1978 N76 P.1—8

- [21] 前原繁等 “OG装置のその後の発展” 制鉄研究 1977 N291 P.89—102
- [22] 角田律男 “制鉄所における燃料の有効利用に就て” 燃料及燃烧 1974 V41 N10 P865—872
- [23] “制鉄の省エネルギー—今后5年に12~10%を目指す” 金属 1975 V45 N2 P.72—74
- [24] 钢铁厂设计 1976 N2 北钢院
- [25] David peace “Waste heat recovery Cuts steel-mill Costs” Modern power and Engikeeing 1965 N11 P.50—52
- [26] J. P. Zauyk “Power plant provides 86% efficiency” The oil and Gas 1974 N5 P.48—51
- [27] K. A. Bray等 “Gas turbines and the total energy Concept” Diesel engineers and users association Pub. 325 1969
- [28] H. Hondius “Total energy in Netherlands” Gas wáfme international 1972 Bd. 21 N11 P.519—525
- [29] B. Rogan “Russia's Giprokoks system—Vanguard of dry coke cooling technology” Iron & steel International 1978 N4 P.101—104
- [30] E. A. 尼茨凯维奇等 “平炉用废热锅炉” 中国工业出版社
- [31] “废锅、反应器、过滤器、消声器—日本卅万合成氨引进装置” 上海化工设计院
- [32] A. A. Подсыпанин “Вибрационная очистка поверхностей нагрева котла—охлаждителя конвектерных газов” пром, энерг. 1970 N3 P.33—35

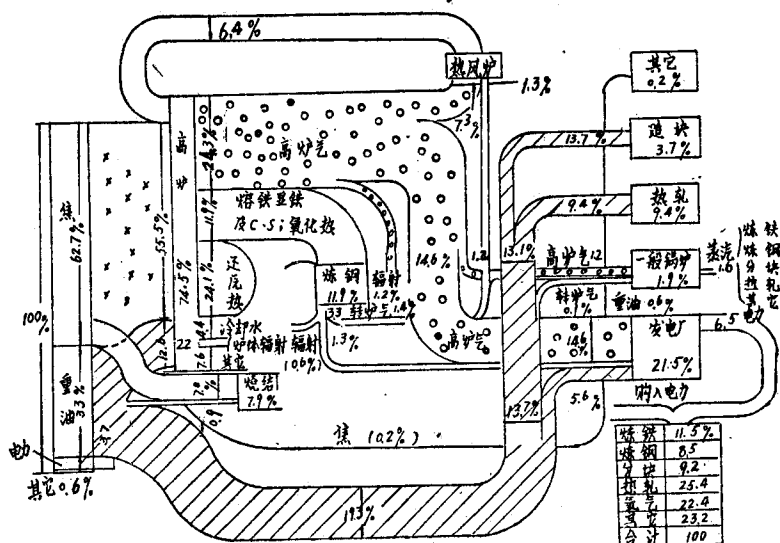


图2-2 500万吨/年钢铁厂能量流程图

表2-1 钢铁厂余热的种类

工程	余热种类	设备放热	成品放热	废气	热水或蒸汽	熔融物 (熔渣)
烧 结	✓	600~700°C	100~450°C	—	—	—
炼 焦	✓	1,000~1,200°C	100~800°C	✓	—	—
炼 铁	✓	1,200~1,400°C	150~400°C	40~60°C	1,300~1,500°C	✓
炼 钢	✓	1,200~1,500°C	1,000~1,400°C	40~60°C	1,300~1,500°C	✓
连续铸造	✓	600~800°C	—	40~60°C	—	—
分块压延	✓	1,100~1,200°C	500~800°C	40~60°C	—	—
压延线材	✓	600~1,200°C	500~800°C	40~60°C	—	—

熄焦正式在大型焦炉上使用,运行经验还不足,其余热回收效果好,但对设备的设计、投资,要化大力气;

四、有一定条件下可回收的余热——热处理炉。其排气量较多,但温度较低,运行率不太高。

苏联1970与1975黑色冶金工业二次能源的利用,如表2-2所示^[10]。

表2-2 苏联1970与1975年黑色冶金工业二次能源的利用

二次能源的形式		1970					1975				
		放出余热 百万 G Cal		燃料节约 10 ⁶ 吨标准煤		利用率	放出余热 百万 G Cal		燃料节约 10 ⁶ 吨标准煤		利用率
		可利用	预 期 约	可利用	预 期 约	%	可利用	预 期 约	可利用	预 期 约	%
1. 汽化冷却 系统所吸 的热量	a. 高炉	6.9	1.12	1.26	0.2	16	7.0	2.7	1.28	0.49	38
	b. 平炉	10.7	6.5	1.94	1.12	58	9.47	6.6	1.70	1.10	59
	c. 铸锭	0.12	—	0.04	—	—	1.17	—	0.21	—	—
	d. 加热炉	6.96	2.79	1.28	0.52	40	8.76	5.00	1.53	0.9	57
2. 平炉排气		17.5	7.00	3.21	1.3	40	16.57	9.25	3.00	1.67	56
3. 转炉排气		3.47	2.84	0.63	0.52	82	6.7	5.12	1.2	0.9	76
4. 加热炉排气		8.7	2.5	1.58	0.45	28	11.4	4.7	2.0	0.8	41
5. 干法熄焦热量		20.64	1.54	3.75	0.28	8	24.0	6.00	4.35	1.1	25
总 计		75.13	24.3	13.7	4.4	32	85.0	39.5	15.4	7.0	46

第二节 干法熄焦装置及余热锅炉

一、干法熄焦装置的发展

近十年来,干法熄焦装置,是国外黑色冶金联合企业和炼焦企业最引人注目的技术之一。各国的有关工厂企业都竞相采用。

第一次世界大战结束后,瑞士的苏尔寿 (Sulzer) 公司为了回收能量,在70多个煤气公司和一些钢铁厂的焦炉后装设了干法熄焦装置。当时,该装置的规模较小,回收能量的优越性没有充分体现出来,而投资却显得偏高,因而未能获得应有的注意。1950年后,世界天然气工业迅速发展,迫使很多煤气公司停止了生产,因而仅剩几个小型的钢铁厂焦炉后的干法熄焦装置一直继续运行,其中有英国的福特—达根汉 (Fort-Dagenham) 和法国的奥梅柯尔 (Homecourt) 厂;后者装有八台10吨焦/时的干法熄焦设备^[12]。

苏联1965年在切略保维茨基 (Черёбовецкий) 冶金厂建成二座生产能力为52-56吨焦/时^[13]的干法熄焦装置,经过三年运行以后,提出了进一步改进的意见。至1973年底,已有7个厂的28套装置投入运行,并计划至1975年在10个厂内建设17套56吨焦/时和16套120吨焦/时规模的干法熄焦装置^[12]。现在,苏联强制规定:凡是新建或改建的熄焦设备一律必须采用干法熄焦装置^[14]。

日本于1971—1972年间由日本钢管公司派人了解苏联与法国干法熄焦流程与设备运行情况,确认这种装置在苏联已完全进入实用阶段;法国的干法熄焦装置,从焦的处理能力、蒸汽参数及蒸发量的稳定性、自动化程度及除尘措施等都比苏联的装置差。所以,决定引进苏联的干法熄焦技术。但经日本调研认为,苏联的干法熄焦装置还存在二方面的问题,即(a)苏联的标准装置处理量为56吨焦/时,不能满足大型焦炉的要求;(b)苏联的装置着眼于回收热量与避免熄焦时焦的冻结,而对防止公害考虑不周。日本钢管公司的京滨制铁厂扇岛焦化厂引进了苏联的干法熄焦技术,用以装备该厂自称世界上最大的焦炉。根据上述苏联技术的

缺点，作了改进，完成了能适应大型化要求的 NKK-Licensintorg 式干法熄焦装置，并于 1976 年投入运行，证明操作稳定，效果很好^[15]。1977 年日本川铁化学公司千叶工厂从苏联引进的 3 座能力为 56 吨焦/时的干法熄焦装置也投入了运行^[16]。

美国从 1974~1975 年间才由奥地利华格纳—比洛 (Wagner-Biro) 公司的美国分公司与瑞士苏尔寿 (Sulzer) 公司联合设计干法熄焦装置^[17]。1977 年美国的宾夕法尼亚工程公司 (PEC) 与美国的华格纳—比洛分公司签订合同，获得在美国与加拿大制造干法熄焦装置的许可权^[18]，1977 年，该干法熄焦装置投入运行。

现除苏联、日本、美国、英国、法国外，西德、芬兰、南非、捷克、东德、荷兰等国都有干法熄焦装置在运行^[14]。

国外所用干法熄焦装置的技术经济效果如下^[14]：

(一) 经济价值高 可回收热能，省去湿法熄焦的水泵、水处理费用，运行费少，不腐蚀设备，使用寿命长等等。据称^[20]，年产 150 万吨铁的炼铁厂采用干法熄焦流程后，每年可以节约 300 万英镑（包括能量回收与焦的节约）。美国钢铁工业用焦量每年约为 8000~9000 万吨，在全部采用干法熄焦流程时，每年可节约的能量值，折算成石油约为 300 万吨^[18]。据苏联统计^[17]，干法熄焦流程，使高炉的焦比降低 7~10 公斤/吨生铁，高炉的生产率提高 2~3 %。

(二) 消除公害 湿法熄焦时，每吨焦要排出含有 400 公斤粉焦的水蒸汽烟雾，使熄焦场地周围环境严重恶化，影响范围超过 5 公里。所释放的 CO 气体，在 5 公里外达 16.8 毫克/米³（超过规定的 3 毫克/米³ 标准），造成严重的空气污染。此外，冲焦水含有毒质，必须经过处理，以免损害周围的水质，形成水污染。在用干法熄焦后，上述问题基本可以解决。据称^[12]，苏联工厂使用干法熄焦流程后，空气中粉尘浓度从正常值 2.7~3.7 毫克/标米³ 上升到 7~13 毫克/标米³（仅上升 4.3~9.3 毫克/标米³）；该流程利用余热产生蒸汽，原锅炉燃料减少了，所产生的 SO_x 与 NO_x 等有害气体也相应减少。

(三) 焦炭质量提高 干法熄焦使焦炭的焦块均匀，强度和热值提高；高炉焦比降低，生产率提高。密闭的热焦运输车，使焦的冷却较慢，碎焦屑减少据称，日处理 29000 吨煤的炼焦设备，以干法熄焦，每月可节约 21,300 吨煤（年节约 255,600 吨煤）^[14]。

二、干法熄焦的工艺流程——日本钢管公司从苏联引进并加以改进后的流程^[15]。

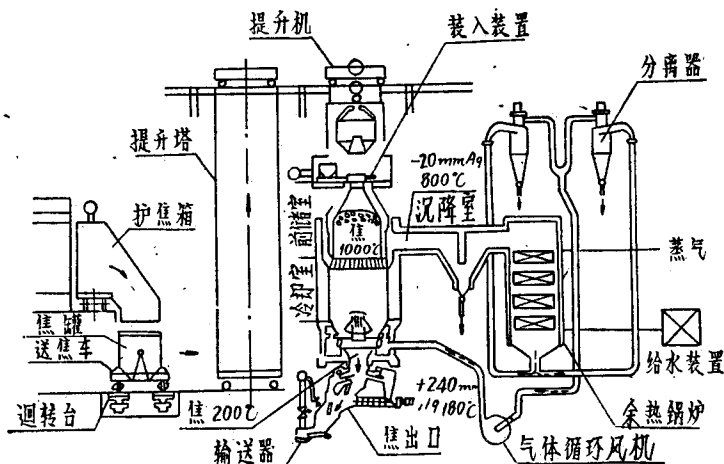


图2-3 干法熄焦流程图

该流程如图2-3所示，其中有由苏联的标准型50吨焦/时扩大至70吨焦/时的装置。

该流程的操作过程如下：热焦由炼焦炉卸至带斗的焦车上，焦斗的盖密闭住，焦车驶至提升塔下，然后以提升机将焦斗提起至熄焦室的装入口。通常为二台焦车和一台提升机交替搬运，热焦由装入口装入熄焦室之前储室，逐渐降至冷却室。用封闭回路循环的惰性气体与热焦接触，将热量带走，使焦炭冷却至200℃以下，被热焦加热至800℃的热气体经沉降室除去粗焦粒后，即送入余热锅炉，使气体的显热转化为蒸汽的热能，同时使循环气体冷却至180℃左右。冷却后的循环气进入分离器除去细灰粒，再由气体循环风机送入熄焦室，冷却后的焦炭由熄焦室下部卸至输送带运走。

该流程的主要设备如表2-3

表2-3 干法熄焦装置中主要设备的参数

设 备 名 称	主 要 规 格
送焦框	带开闭式上盖 常用2台 有效容积75米 ³ 载重量29吨
送焦车	二轴 台车 全自动式 常用2台 速度 200,60,10米/分
提升机	全自动 常用一台 提升荷重80吨，提升速度35, 20, 10, 8米/分 行走速度 60, 8米/分
装入装置	电动驱动连杆方式
熄焦室	熄焦能力 70吨/时×5台 前室容积 280米 ³ 冷却室容积 330米 ³
余热锅炉	膜式水冷壁型 蒸汽参数 20公斤/公分 ² 表压280℃ 最大蒸发量38.5吨/时
循环风机	二侧吸入径流式 风量：105,000标米 ³ /时 风压730毫米水柱，循环烟气温度靠叶片调节
辅助风机	单侧吸入透平式风机 风量43,000标米 ³ /时 风压205毫米
循环气体集尘	1次 冲击式惯性除尘器 2次 旋风除尘器
输出冷焦装置	油压驱动式 输出量5米 ³ /次
上部集尘装置	湿式电气除尘器3,000米 ³ /分 带有密闭烟罩
下部集尘装置	袋式除尘器 2,000米 ³ /分 带有密闭烟罩
粉焦处理装置	吸引式气力输灰方式 输送能力6.5吨/时

在该流程中，各国所用熄焦室与余热锅炉有不同的特点，图2-4为苏联的结构，图2-5为法国的结构，图2-6为美国的结构。熄焦室以苏联结构较为合理，即在熄焦室上部设有前储室，使可稳定冷却气体的流量与温度，不受熄焦室内焦炭量的影响。

三、干法熄焦装置的余热锅炉

余热锅炉的密封性和运行可靠性直接影响到整个装置的经济性与安全性。法国的干法熄