

水泥工业中的余热发电

吴亦三 (杭州余热锅炉研究所)

〔摘要〕 本文介绍了国外几型水泥厂余热锅炉的情况,并对国内水泥厂干法水泥工艺中的余热锅炉存在的问题做了分析。

关键词 余热锅炉 述评

在水泥生产过程中,有湿法和干法两类生产工艺。近十几年,由于能源短缺和费用上涨等原因,节约能源,降低生产成本已成为绝大多数水泥厂的研究课题之一。目前,水泥窑正在通过余热回收系统,开展余热发电来推进水泥工业的节能工作,并以此降低一次能源的消耗和提高产品的竞争能力。

一、余热锅炉的特殊性

余热锅炉的热源多种多样,多数受设备的特性、操作工况和空间条件等限制,一般具有如下特性:

1. 处理具有腐蚀性、毒性和爆炸性的烟气;
2. 含尘量高,受热面结垢严重;
3. 处理高压又是负压强的烟气;
4. 入热波动性大;
5. 多数要求长期连续运行;
6. 安装场地受限制;

在水泥厂,可回收利用的余热有从转窑、预热装置、急冷装置和熟料冷却装置等排出的烟气余热。从预热装置排出的烟气,一般温度为 $360\sim 420\text{ }^{\circ}\text{C}$,含尘量为 $80\sim 140\text{ 克/标米}^3$ 。所排出的烟气压力为负压。所以,在设计水泥窑余热发电用的余热锅炉时,除具有一般余热锅炉的特性外,必须考

虑上述烟气条件。例如,用于回收 $200\sim 250\text{ }^{\circ}\text{C}$ 熟料冷却空气低温余热的余热锅炉,在设计时,除考虑耐磨性和负荷波动性外,必须增加余热锅炉的受热面,采用翅片管作传热元件,可达到预期目的。

二、国外水泥工业的余热发电

在美国,水泥工业节约能源首先从在锻烧窑后设置空气预热器降低能耗开始,采用这种节能措施可使水泥生产的平均能耗减少 22999×10^6 焦耳/吨水泥(即回收余热的节能达 45.7%)。以后在改造工艺窑的同时,设置余热锅炉回收余热进行发电。例如,美国国家石膏公司水泥部的爱尔派工厂,从1973年后的5年时间内,先后建成了五套余热锅炉——蒸汽轮机发电机组,容量达 $5000\sim 12500$ 千瓦。

该发电系统中的余热锅炉参数为:蒸汽压力 1.37 MPa ,过热蒸汽温度 $288\text{ }^{\circ}\text{C}$,进入余热锅炉的烟气温度 $816\text{ }^{\circ}\text{C}$,排出余热锅炉的烟气温度 $205\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

美国北美公司和波特兰水泥厂所开发的有机工质郎肯循环余热锅炉发电机组系统如图1所示。它能更有效地回收利用现代化干法工艺水泥窑的中低温余热,其回收效率比

蒸汽循环高得多,如在利用 260~540℃的中低温余热时,可高达50%左右。

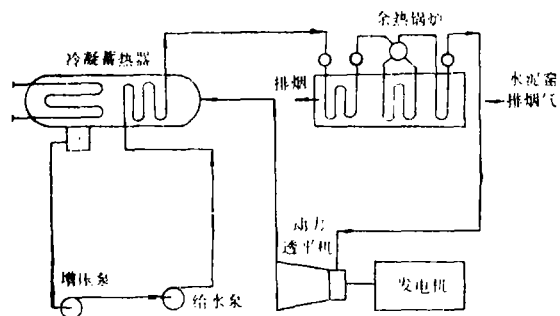


图1 有机工质朗肯循环余热发电系统图

目前,在美国 350~500 千瓦的余热锅炉成套发电设备机组的工作参数为:工作压力4.83 MPa,蒸汽温度260℃,效率28%,投资费用约 650 美元/千瓦;而 6000 千瓦的余热锅炉成套发电设备机组的工作参数为:工作压力2.06 MPa,蒸汽温度278℃,效率21%,投资费用约800美元/千瓦。

在日本,自 1981 年2月住友水泥公司岐阜水泥厂投运一套1320千瓦×2的余热发电系统后,至今已有 17 家水泥厂安装和正在安装余热发电系统。在这些余热发电系统中,窑炉和冷却机的烟气余热可独立也可联合使用。

例如,日本光知市的土佐水泥厂的余热发电系统设置两台强制循环余热锅炉,其参数分别为:

蒸发量	吨/时	25	5
蒸汽压力	兆帕	2.35	2.45
蒸汽温度	℃	360	225
烟气流量	标米 ³ /分	4000	1000
压力损失	帕	980	784.5
		588	

日本秩父水泥公司熊谷水泥厂于1982年安装的余热发电系统如图2所示,系统的装机容量为1.5万千瓦。

余热发电系统有两台悬吊式余热锅炉,均为强制循环锅炉。余热锅炉的最高工作压

力为2.55 MPa,使用工作压力为2.01 MPa,蒸汽温度为350℃。1^号余热锅炉的产汽量为27.4 吨/时,2^号余热锅炉的产汽量为45.5 吨/时。

由于进入余热锅炉的烟气含有大量强粘性粉尘,为防止受热面积灰,受热面布置成悬吊式蛇形管(带翅片),管子错列布置,烟气横向冲刷受热面。除灰装置采用锤击式和压缩空气或蒸汽吹扫。

瑞士 untermenz 水泥厂一台直径为 4.5 米,长68米的4级悬吊预热窑(容量为1600吨/天熟料),损失在排烟中的能量大约为14MW(排烟量96000标米³/时,烟温为360℃)。1981~1982 年安装余热锅炉回收排烟余热后,可使热能损失减少7 MW,当余热锅炉回收150~400℃排烟温度时,发电系统的效率为10~20%。

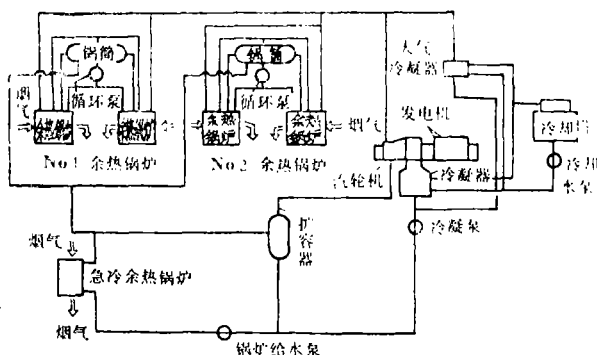


图2 日本熊谷水泥厂余热发电系统图

该水泥厂所安装的余热锅炉为自然循环的单回程锅炉,余热锅炉高13米,重约75吨。余热锅炉与原有的烟道平行,当热烟气通过余热锅炉时,使烟气温度从360℃降至200/220℃,产生压力为0.7 MPa,温度为290℃的蒸汽7.25 吨/时。当需调节余热锅炉负荷时,可使用原有的旁通系统。

由于该厂的有效空间有限,余热锅炉采用垂直布置,烟气从顶部进入,由底部排出。余热锅炉位于70米高的悬吊预热塔顶部,

从而缩短了余热锅炉的烟气通道。

余热锅炉的壳体和烟道的设计压力定在低于大气压, 即 9.8 MPa ($1000 \text{ mm H}_2\text{O}$) 上。这一压力的吸力与水泥窑运行中发生的突然故障能相适应。在正常运行中, 吸升力相当于 $3.9 \sim 4.9 \text{ kPa}$ ($400 \sim 500 \text{ mmH}_2\text{O}$)

为对付烟气含尘量高的特点, 在余热锅炉的设计中, 采取如下措施:

1. 适当的管道和管网布置。
2. 特殊的, 可调节的受热面清扫系统。
3. 设计必要的排烟档板和内部元件
4. 抗温和抗磨的结构材料

在余热锅炉的设计中, 另一个更重要的特性是余热锅炉烟侧的压损。通常余热锅炉可按 0.78 kPa ($80 \text{ mmH}_2\text{O}$) 的压降设计。

二、急冷排烟余热回收系统

从急冷装置排出的烟气通常只有 250°C 左右, 但烟流大 (约 $1500 \text{ 标米}^3/\text{吨熟料}$), 余热量也大。为回收利用急冷装置排出的低温余热, 国外已开发出低温余热发电系统。

例如, 住友水泥公司赤穗水泥厂, 为经济利用急冷装置的低温排烟余热, 在第二工场中安装了急冷低温余热发电系统。其基本原理是采用低沸点工质, 回收低温余热进行发电。该发电系统如图3所示。其出力为 3000 kW , 能回收余热60%左右。另外, 当排烟温度和流量变化时, 只要采取旁通操作, 系统仍能获得稳定的发电出力。

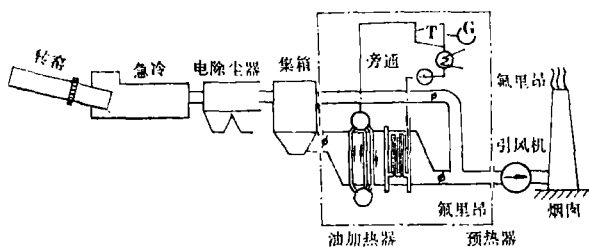


图3 急冷低温发电系统

日本秩父水泥公司的熊谷水泥厂也在余热发电系统中设置了急冷余热锅炉。该余热锅炉为水管式锅炉, 参数为: 工作压力 4.9 MPa , 出口温度 214°C , 容量 100.9 吨/时 。由于余热锅炉安装在电除尘器后面, 烟温低, 含尘量少, 所以采用水平布置的翅片管受热面。

该水泥厂的急冷余热锅炉产生热水, 供余热发电系统的 1° , 2° 余热锅炉的给水外, 剩余部分送入扩容器扩容成低压蒸汽, 并引入汽轮机低压段发电。为使余热锅炉的给水温度变化不大, 在扩容器进口设置了热水控制阀, 从控制通过急冷余热锅炉的给水量。这样, 可使进入 1° , 2° 余热锅炉的给水温度上升到接近饱和水温 (214°C), 从而提高了循环的热效率。

三、国内的水泥窑余热锅炉

目前, 在国内水泥厂运行的水泥窑余热锅炉有 3 、 4 、 6.5 、 10 和 20 吨/时 , 压力在 $1.27 \sim 2.45 \text{ MPa}$, 温度在 $350 \sim 400^\circ\text{C}$ 的系列产品。这些余热锅炉均用于干法水泥工艺中的余热回收。其中, DH1972-25/400 型余热锅炉已作为节能产品推广应用。例如, 大连水泥厂采用此型 (蒸发量 20 吨/时) 的余热锅炉, 回收水泥窑的排烟余热产品蒸汽, 所产的蒸汽用于发电可满足该厂用电量的72%。现 20 吨/时熟料 的干法水泥窑的余热发电系统所配的余热锅炉, 其大多数的参数为: 蒸发量 20 吨/时 , 压力 2.45 MPa , 温度 400°C 。但是, 这些余热锅炉的实际出力并未达到设计值。问题在于:

1. 余热锅炉系统的漏风

由于外界的冷空气大量渗入余热锅炉而使排烟量增加, 致使余热品位进一步降低和可用的余热量进一步减少, 结果影响了余热锅炉效率。目前, 大多数余热锅炉系统在实际运行中的漏风量都在 200% 以

上,因此余热锅炉效率仅为65%,余热锅炉系统效率为58%左右,均低于设计值,所以不能将余热有效地转为蒸汽而影响了系统的发电量。通常,与炉窑相配的余热锅炉系统的漏风量应不大于50%,炉窑系统的漏风量应不大于15%。这样就可使余热锅炉的效率达到75%。

2. 余热锅炉给水温度偏低

余热锅炉给水设计温度一般为105℃,通常采用锅炉排污及蒸汽系统疏水等低温热源预热给水和除氧。但实际运行中,大部分锅炉给水温度在60℃左右,并采用锅炉汽包内的饱和蒸汽预热给水和除氧,从而减少了供发电的蒸汽。必须保证105℃的给水温度,并改变用饱和蒸汽预热给水的做法。

3. 余热锅炉的本体设计

目前运行中的余热锅炉虽然为水泥窑配套设计,但锅炉排管的布置不合理,因而易结灰和挂灰,并难以清扫,管子易磨损而需要更换等,结果既影响了余热锅炉效率,而且还直接影响余热锅炉系统运行的经济性。所以,在设计新的余热锅炉时,必须进一步充分考虑烟气特性和排管的严重磨损问题,并特别注意在600~800℃易烧结及附着在排管上而不易吹扫等特点。

另外,通过余热锅炉升温升压运行来增

加余热锅炉系统的发电量。一般,现有20吨/时,2.45 MPa,400℃的余热锅炉改善漏风问题后,在正常的设计烟气条件运行,完全能使余热锅炉产生3.82 MPa和450℃的蒸汽,这样就可使余热锅炉系统的发电量提高8%以上。

目前,国内利用水泥窑排烟余热进行发电的指标为180千瓦时/吨熟料,这样就可以降低水泥窑的热耗4170千焦/公斤熟料。根据国家节能效果的计算规定,每节约1千瓦时相当于节约0.4公斤标煤。

在国内电力紧缺地区的水泥厂,利用干法工艺水泥窑的排烟余热进行发电,有很大的优越性,它不仅节约一次能源,而且能部分地解决生产用电,所以,发展水泥窑余热发电具有很大的生命力。

参 考 文 献

- [1] 发电用废热ボイラ。产业机械,1985,413(2)
- [2] セメント产业における废热ボラの现状と课题。产业机械,1985,413(2)
- [3] Potential for energy conservation in the U.S. Cement industry. World cement, 1982,13
- [4] 中低温排热ヲ利用した发电システム。省エネルギー,1983,35(3)

Waste-heat Power Generation in Cement Manufacturing Industries

Wu Yisan

(Hangzhou Waste Heat Boiler Research Institute)

Abstract

The paper presents several types of waste heat boilers used in cement works of some foreign countries. Also given is an analysis of some problems existing in waste heat boilers, which are employed for dry-method cement manufacturing process in China.

Key words: waste heat boiler, overview