

自动化节能 国内外动态及趋势

冶金部自动化研究所情报研究室

一九八五年十月

前 言

节能是我国重要国策之一，尤其钢铁工业的节能问题更为突出，潜力也相当大。一般可通过改革工艺、采用新材料、新技术和选用先进适用的自动化技术来达到节能目的。本专题拟从自动化技术的角度出发，分析采用自动化技术后给钢铁工业的节能所创造的价值。

本专题主要从转炉炼钢节能的检测及自动控制技术，轧钢节能的控制技术和能源中心装置和节能这三方面进行论述。由于时间紧迫，高炉节能的检测及自动控制技术的内容未能整理出来，仅提供较多的题录供参阅。

参加本专题综合报告编写工作的同志有：沈黎颖同志承担第一节的编写（此部分材料由罗晓同志收集并做出摘译）、曹桂苏同志承担第二节的编写，徐慰珠同志（本课题负责人）承担第三节的编写。盛伟志同志整理题录。

在收集资料过程中得到了徐树荣、夏德海等同志的帮助，在此表示感谢。

由于水平有限，在本报告中错误难免，敬请读者予以指正。

目 录

第一节、转炉炼钢节能的检测和自动控制技术	(1)
一、提高转炉煤气回收率.....	(1)
二、激光束监视炉衬蚀损和垂直喷补.....	(7)
三、计算机控制在转炉节能方面的应用.....	(15)
第二节、轧钢节能的自动控制技术	(21)
一、轧钢节能的主要途径.....	(21)
二、有显著节能效果的加热炉过程控制技术.....	(23)
三、以节能为目标的连续加热炉计算机控制系统.....	(26)
四、有助于节能的轧机交流调速传动.....	(30)
五、热带钢轧制的最佳操作系统.....	(35)
第三节、能源中心装置和节能	(40)
一、概述.....	(40)
二、以计算机为核心的能源中心系统的构成及其功能.....	(43)
三、经济效益的分析.....	(52)
四、关于在我国钢铁企业中设立能源管理中心的几点考虑	(53)
结束语.....	(54)
附：题录.....	(56)

第一节 转炉炼钢节能的检测和自动控制技术

国外计算机控制转炉节能技术发展很快,例如:在OG炉压控制系统中采用最佳控制理论,使煤气回收率得到提高;激光测量炉衬厚度和计算机控制垂直喷补炉衬,减少了喷补材料的消耗量和喷补时间,延长了炉衬寿命;副枪动态控制系统的应用,提高了钢水温度和碳的命中率;另外,相应的自动化仪表技术也随着计算机控制理论的应用迅速发展。而我国由于设备不完善,特别是与计算机控制系统配套的检测仪表发展跟不上,以及生产管理方面存在的问题,使计算机控制转炉炼钢至今仍不能很好地应用于生产。因此,我们有必要适当引进国外先进技术和设备,并对我国现有设备进行改善和发展,大力发展与自动控制配套的检测仪表,加强企业管理,使计算机控制转炉炼钢得到应用和发展。

转炉炼钢节能的途径有多种,例如:
(1)提高转炉煤气回收率。(2)改善辅助材料的成份、温度,如予热废钢,提高废钢比等;法国有个Usinor's OBM钢厂,有两座125吨转炉,由于通过安装在上部炉衬上的侧风口向炼钢炉中吹入氧气,使废钢比得到提高。1982年10月,全部转炉采用组合吹炼,即由原来的双孔吹氧改为没有其它保护气的多孔吹氧的办法将氧气再次吹入炉中。这种吹炼方法可以达到以下节能效果:钢水消耗降低了6~7%;石灰消耗降低;保护气消耗降低了18%;吹炼时间缩短了约10%。但也应注意到回收的煤气中,灰尘量增加了。
(3)延长炉龄,包括吹炼自动控制,炉衬烧损监测和喷补。(4)提高连铸比。(5)炉渣热能回收。(6)提高转炉炼钢过程的自动控制水平等等。下面就其中(1)(3)(6)三个方面进行论述。

一、提高转炉煤气回收率〔2〕〔3〕〔4〕〔10〕

对转炉炼钢过程中释放出的大量煤气进行回收并提高其回收率是钢厂节能中不可忽视的重要一环。

转炉煤气的回收方式一般有两种:一种是在转炉烟罩上装设锅炉,使CO气体强制燃烧,所生成的热能转换为蒸气回收,称为燃烧法;一种是通过直接回收CO来回收炉气的潜热,称为未燃法。由于锅炉的基建费和维护操作费用高,而且操作也较复杂,而未燃法的回收率则随着回收技术的改进而不断提高,所得煤气又是用途极广的无公害燃气,所以最近国外投产的转炉一般都是采用未燃法。转炉煤气回收工作在一些技术先进的国家早已开始,在我国虽然早就有人开始重视,并在最近几年引进了一些国外先进设备,但在技术上尚存在一些问题,因此有必要在借鉴国外技术的基础上,根据我国具体情况,设计煤气回收装置。

下面就以日本千叶钢厂为例,介绍其煤气回收装置及为了提高煤气回收率所采取的改进措施。然后再简单介绍一下我国在回收煤气方面的情况,并提出建议。

1、日本千叶钢厂的煤气回收装置及煤气回收率的提高

千叶钢厂第三炼钢车间有两座230吨底吹碱性氧气转炉,这两个转炉都采用了OG系统作为煤气回收装置,并把从Q-BOP(底吹碱性氧气转炉)中回收的煤气(能量有效地用作发电厂的燃料)。

为了增加回收能量,提高回收率,他们采取了如下措施:通过缩小炉子与烟罩之间隙降低煤气燃烧率;通过计算机控制煤气消耗及缩短煤气分析时间来延长回收时间;

通过底风口喷射石灰石粉增加煤气回收。这些措施增加了煤气回收量，达到了节能的效果。

(1) 设备概况：

图 1-1 为设备示意图。

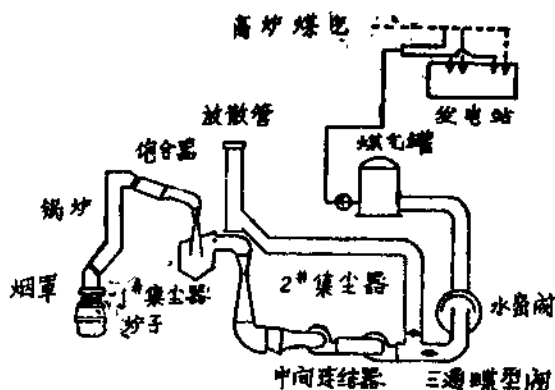


图 1-1 OG 系统气体流动示意图

(2) 强化单位回收能量的措施，通过以下几方面实现：

1) 煤气可回收炉数与总炉数之比的改进

在设备操作的初始阶段，由于煤气回收条件设定值不合适，操作人员操作不熟练等原因，将造成煤气全部或部分不可回收。后来，通过设备的改进和维护及对耐火砖的维护，已可以使煤气的可回收炉数与总炉数之比高达 100%。

2) 延长煤气回收时间

① 煤气消耗的计算机控制

图 1-2 为煤气回收框图。

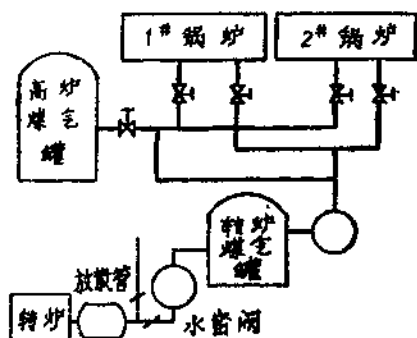


图 1-2 回收煤气流程图

从图 1-2 可以看出，由于煤气是间歇地

产生，因此安装了一个煤气罐，煤气罐中的煤气起缓冲作用，以维持煤气产生量和消耗量之间的平衡。将回收煤气贮在容积为 6000m³ 的煤气回收罐中，并送往发电厂。在那里煤气可以独立燃烧，也可以与高炉煤气等混合燃烧，但是要想使煤气消耗体积发生突然的变化是很困难的，因此，为了稳定使用煤气，引入了计算机控制的预测和控制系统。

图 1-3 为预测和控制系统的原理图。

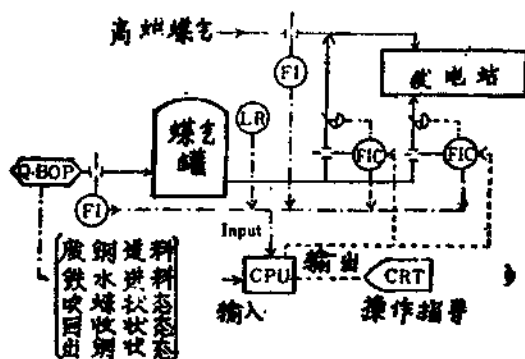


图 1-3 计算机控制转炉煤气系统框图

由图 1-3 可以看到，废钢进料，铁水进料，吹炼状态，回收状态以及出钢状态的数据均送入计算机内，以确定 Q-BOP 的操作条件。送入贮气罐之前的煤气流量通过流量指

示仪显示出来并输入计算机，从而预测煤气产生的体积。然后，通过流量控制器控制送往发电厂的气体流量，并将其控制量反馈到计算机内，达到稳定使用煤气的目的。

②缩短煤气分析时间

在吹炼前期和吹炼后期，CO含量低，而O₂含量却较高，这时的煤气不能也不值得回收，因为氧含量过高（当其达到5.6%时会引起爆炸）极不安全。实际回收时氧含量控制在2%以下，一般吹炼正常时转炉煤气中O₂的真正含量大于0.3~0.5%左右。对CO的含量也有一定要求，一般须大于60%时才能回收，因为低于这个数值，煤气的发热值不高，回收的意义不大。鉴于上述要求，必须在吹炼期间连续监测烟道内CO和O₂气体浓度，以判定OG可回收条件。在干叶厂第三炼钢车间，OG的可回收条件是CO浓度设定为30%或更高，O₂浓度为1%或更低。为了尽早回收煤气，并在保证安全的前提下延长回收时间，必须减少煤气分析时间并加强分析值的可靠性。

图1-4为煤气采样系统示意图。为了减少分析时间，改造了采样探头，采样泵和管道系统。其结果气体回收时间延长了约30秒（相当于8400Kcal/t）。

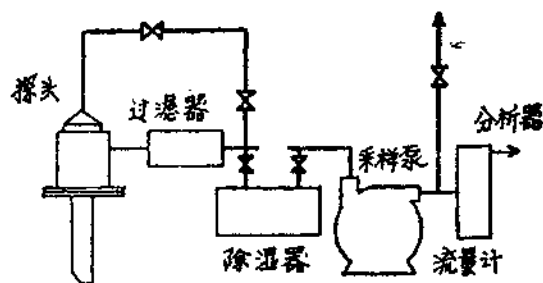


图1-4 煤气采样系统

③预燃和后燃制度的改进

为了增加煤气回收量，希望预燃和后燃的时间尽可能的短。通过在炉顶和锥形烟道同时完成气体分析，可以测定烟道中生成惰性气体层所需要的时间及气体在烟道中停留

的条件。惰性气体层是这样形成的，在吹炼的初始阶段（予燃）和最后阶段（后燃），上提烟罩，使煤气在炉口燃烧，所有的H₂、CO和O₂形成一个惰气层，其含量都低于它们各自的临界值，这样不致于引起爆炸。研究结果表明即使惰性气体生成时间减少到几秒钟，也不可能产生由于可燃气体与空气的混合而爆炸的危险。与此同时，测定了Q-BOP内的脱碳效率，以无误地形成一个惰性气体层，并延长回收时间的方式建立预燃和后燃制度。通过这个改进，回收时间增加了1.7分钟（相当于2900Kcal/t）。

3)降低燃烧率

为了增加废气能量回收，希望延长回收时间并限制空气吸入。

燃烧率与烟罩和炉子间隙的关系示于图1-5。由图可以看出，为了降低燃烧率，减小烟罩与炉子的间隙是很重要的。由

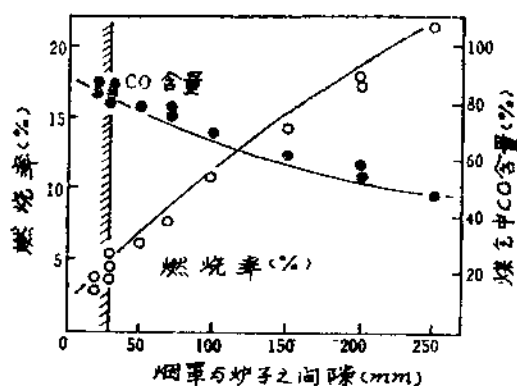


图1-5 燃烧率及CO含量与烟罩和炉子间隙之间的关系

于Q-BOP能够较容易地抑制溢出和飞溅，能够防止炉口装置顶部的沉积，并能在一个小范围内调节烟罩和炉子的缝隙，因此可以在间隙为20~30mm的条件下完成操作，此时燃烧率为4%。如果将烟罩与炉子的间隙密封起来，则可使燃烧率由4%降至最低值2~3%，从而改进单位回收煤气为6200Kcal/t。

到此为止,我们可以看到回收气体的能量平衡是这样的:

回收煤气能量79.7%+锅炉热能回收9.1%=总能量回收达88.8%。

由此可以看到回收煤气在节能中的重要作用。

4) 通过石灰石喷射增加煤气回收

在回收煤气的过程中,注入石灰石来代替从炉底注入的部分生石灰,通过氧气流将生石灰和石灰石注入熔化的钢中,此时氧化钙所含当量不变。此实验结果表明,由石灰石产生的CO几乎能全部回收。石灰石的吸热还原反应,减少了作为冷却介质的铁矿石的加入量,与通常仅仅注入生石灰比较,由于喷射石灰石,增加了去磷作用力,因此降低了CaO总量。

(3) 操作结果及结论

自1977年5月该回收设备启动以来,经过上面所说的各种改进,吨钢回收能量稳步上升,见图1-6最近已达 $270 \times 10^3 \text{Kcal/t}$,如果加上蒸汽单元回收,总煤气回收已超过 $300 \times 10^3 \text{Kcal/t}$,计为干叶厂吨钢总消耗的3.4%。

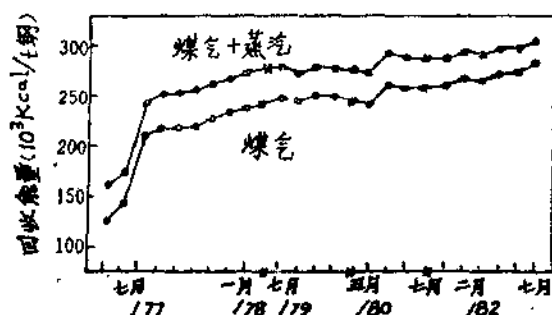


图1-6 从Q-BOP中回收能量的月变化量

干叶厂在Q-BOP废气回收中所做的主要技术改进概括为以下几点:(1)通过几乎完全密封烟罩与炉子间隙,降低燃烧率。(2)通过形成惰性气体层及在早期建立回收条件的吹炼制度来延长回收时间。(3)通过缩短煤气取样和分析时间延长回收时间。

以上是日本干叶厂煤气回收及改进措施,问题的关键在于如何学习国外先进经验,研究出一套适合于我国国情的煤气回收装置及仪表控制系统。

2、我国转炉煤气的回收^{[3][4]}

我国转炉钢产量约1400万吨。如果全部采用煤气回收措施,按日本向宝钢提供的保证值算,每年可回收煤气11.5亿标米³,发热值为1800大卡/标米³以上,相当于标准煤30万吨。但目前有煤气回收设施的转炉仅为总转炉钢产量的44%,亦即,一半以上钢产量的厂,没有煤气回收设施。即或是有回收设施的厂,因技术落后,回收量和发热值也很低。转炉排出的煤气不仅污染环境而且还浪费了能源。为此鞍钢、武钢及上钢一厂引进了有关技术和装置。归纳起来这些装置分为两大类:一是安全监控和自动回收仪表设施,包括转炉炉气分析仪表(高温区)和煤气回收分析仪表(低温区)两种;一是炉口微差压煤气回收控制系统。共引进七套设备,日前仅有一套在安装调试。在调试中已发现一些问题,正在解决中。大部分引进设备尚未安装使用。这就提出了一个问题,即是否要继续引进和如何引进的问题。下面是三个值得注意的具体问题:

(1) 在生产条件不具备的情况下,不要过早引进有关装置。例如:没有比较成熟的动态控制炼钢经验,也不打算去花大气力做这方面试验研究的单位,就不应当引进高温区炉气分析装置。

(2) 已经引进的设备,但尚未经正常投产检验证实之前,则不宜急于再引进类似设备。

(3) 国内试验成功的设备,而且实践证明是可行的就不必再去引进。

总之,引进技术需根据我国具体情况,取得使用经验后,再推广使用,不宜一拥而上。另外,在国外先进技术的基础上,结合

我国现有技术和设备进行设计或改进，也是可行的。

下面介绍一个我国自行设计的煤气回收系统及检测装置。

我国自行研究设计的“炉口微差压控制”转炉煤气回收系统，于1984年5月，首次成功地在上海第一钢铁厂（可能是30t转炉上）投入工业试验。经测定，转炉煤气中的一氧化碳含量由过去的平均45%，提高到65%以上，煤气发热值每标准立方米，从原来的1350大卡，提高到2000大卡左右，每吨钢煤气回收量由过去的平均50标准立方米，提高到70标准立方米以上。这样，相当于每吨钢回收的热量翻一番。这对我国炼钢转炉进一步减轻CO大气污染和提高煤气质量、数量，是一个重大突破。

另外，此系统跟踪速度为4秒，二级文氏管的执行机构力矩仅为5公斤米。说明国内研制的设备是可行的，与大小炼钢炉要求的回收控制性能基本上是接近的。换句话说，上钢一厂现行设备同样可用于50吨、120吨炼钢炉上，变动部分仅有液压装置RD阀。它的经济效益极为明显，以公称15吨转炉而言，也只要半年时间，就可以回收全部投资。每吨钢可节省成本费1元以上。

根据上钢一厂这一套装置稳定的操作性能和国内设备供应情况来看，已有煤气回收设施的转炉宜尽快采用这一新的技术。我国已有11座转炉回收煤气，年产钢250万吨，这样，只需110万元左右的费用，每年就可以节约成本费250万元以上，节约标准煤二万一千吨。

另外，根据对国内部分钢厂转炉炼钢过程的实地了解，要为我国纯氧顶吹转炉煤气回收提供可靠的检测装置，除了合理选用可靠的分析仪器外，主要的技术关键首先还在

于解决取样和气样净化系统。根据现有条件采用国内的仪器和元件，通过一定的努力，设计和生产成套的转炉煤气回收检测装置是完全可以实现的。

检测装置的任务就是正确、及时地给出整个吹炼过程中氧和一氧化碳的变化情况，最大限度地回收合格的煤气。四川仪表九厂在这方面做了不少工作，他们提出了一套煤气检测装置。其装置中氧分析器和一氧化碳分析器是两台必须具备的分析仪器，由于分析仪器本身的反应时间比较快，所以取样和气样净化系统的滞后时间就显得非常重要。该厂生产的CJ系列氧分析器和红外线气体分析器，就其本身的精度和反应时间而言是能够满足这一流程需要的，这样，取样和气样净化系统就是整个检测装置的关键。

在设计确定检测装置前，首先弄清整个工艺条件，然后根据实际情况合理选择取样点。所谓合理的取样点，必须符合三个原则：第一是从该点取出的样气对整个工艺流程要有指导意义，即样品气必须具有代表性；第二所取的样品气要尽可能有利于取样和容易被净化。如果取样点选择得好，那么取样和净化系统将相当简单。第三是选择的取样点的位置，必须便于安装和日常维护。

图1-7是转炉煤气回收系统工艺流程简图。其中打●的位置是可供选择的两个取样点的位置。这两个位置上的工艺参数有很大区别见表1-1。

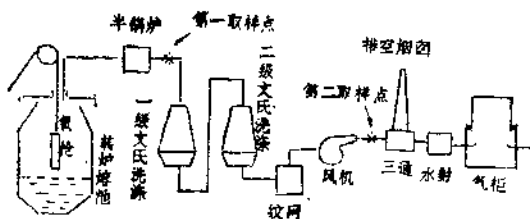


图1-7 转炉煤气回收工艺流程简图

表1-1 两个取样点的工艺参数

项 目	第一取样点 (一级文氏洗涤前)	第二取样点 (风机后)
温 度	900°C	40~80°C
压 力	-50mmH ₂ O	200~400mmH ₂ O
炉气流速	20·25米/秒	15·35米/秒
粉尘含量	150g/m ³	100~50mg/m ³
粉尘粒度	90%以上>1μ	90%以上<1μ

国外的分析装置是在第一取样点,但从表1-1可以看出,第二取样点温度低,灰尘含量低,由于风机之后的取样点接近地面,因此便于安装和日常维护。另外,在风机之后是决定炉气放空还是通过水封进入气柜回收的关键控制点。只要该点的煤气符合质量要求,那么就可决定回收。由此可见,把检测装置设在第二取样点比在第一取样点更具现实意义。

图1-8是检测装置的示意图。根据各个部件在整个装置中的作用,可将回收检测装置分为三部分:取样和气样净化系统,煤气分析系统,安全回收指示系统。

取样和气样净化系统:由于转炉煤气是间断回收,实际回收的时间又很短,因此要求有一个效率高而且滞后时间短的取样和气样净化系统,为炉气分析系统提供满足仪器用气要求的纯净气样。以前的实验,由于无法消除气样中的铁磁性灰尘和滞后时间太长而未能成功。而此取样和净化系统能够有效地消除气样中的铁磁性灰尘和克服滞后时间长的问题。这个系统包括:取样器、致冷干燥器、磁过滤器、电磁阀、取样泵、气流缓冲器、水封稳压器、稳流阀、干燥指示器、过滤指示器、流量计和一些阀件组成。

其中磁过滤器是消除铁磁性灰尘的关键部件,并用大流量的取样泵来解决系统的滞后问题。

气样净化过程是这样的,样气从工艺管道中进入净化系统动力来源是JMB-2型膜式气体泵。样气通过取样器滤去残剩的大颗粒灰尘,然后通过致冷干燥器除去水份,除水后样气进入磁过滤器,除去铁磁性灰尘,为了确认样气是否被净化,在通入仪器前先通过干燥指示器和过滤指示器。系统中的气流缓冲器,水封稳压器和稳流阀及流量计是为了保证进入仪器的样气有稳定的流量,同时消除由于取样泵的膜片振动而引起的脉冲。系统中的三通阀是当氧枪停止吹氧后,切断原来气样的流路,用氮气吹洗其前面部分管道,保证长期使用不堵,电磁阀的动作与氧枪吹氧是同步的。本系统采用湿法取样,这样膜式泵对现场条件容易满足,且当气样到达取样泵时,灰尘基本被除净,同时膜式泵产生的压力和流量都较大,这样可以大大减少滞后时间。

煤气分析系统:本系统是由一台磁力机械式氧分析器和一台红外线CO分析器及两台输入信号为0~10mv的记录仪组成。(见图1-8)。

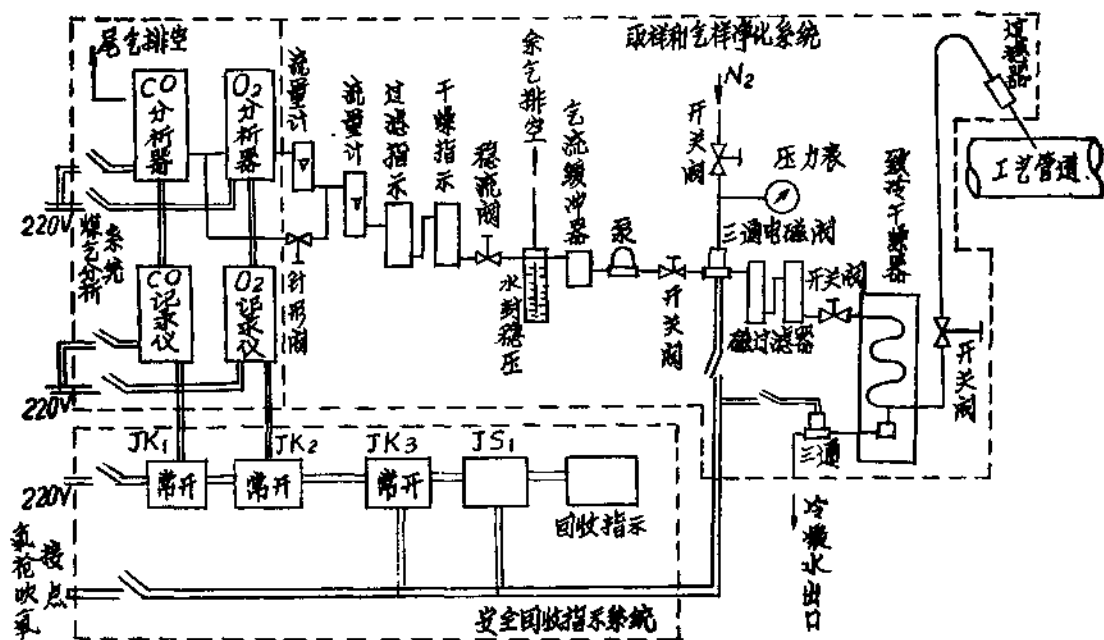


图1-8 检测装置示意图

安全回收指示系统：这个系统是由三个交流接触器，一个时间继电器及一些辅助器件组成。（见图1-8）。

正常吹炼前JK₁、JK₂、JK₃、为开路状态，当正常吹炼氧枪开始吹氧时JK₃首先接通，但这时因O₂和CO含量尚未满足回收要求，仪器指示未进入控制点，JK₁和JK₂尚处于断开状态。约2分钟后，当O₂和CO满足回收要求时，指示进入预先设定的指示范围内，JK₁和JK₂才接通。只有当JK₁、JK₂、JK₃和JS₁全部接通时，才会发出回收信号，只要其中有一项不满足要求都会发出停止回收信号。结束回收的信号由JS₁的断开接点发出，时间继电器JS₁的计时是从氧枪吹氧开始的，结束回收的时间是根据仪器的滞后回收期的具体情况，事先进行整定的，这样就弥补了由于分析系统的滞后带来的回收操作上的滞后，保证煤气回收的安全、可靠。

煤气回收之所以越来越被人们所重视，

其主要原因是人们看到了煤气回收的经济效益。被回收的煤气一般可用作低压锅炉，发电厂锅炉，热风炉，均热炉，石灰煅烧炉，加热炉等的燃料。转炉煤气的发热量为2000大卡/m³，一般转炉的煤气回收量是60m³/吨钢，如以攀钢120T转炉为例每炉钢可回收煤气7200m³，若每小时炼一炉钢，回收的煤气按每立方米0.03元计算，每天可回收煤气17万m³，经济效益5000元，全年生产8个月（另外四个月为转炉检修时间）则全年仅从回收煤气中为国家创造财富120万元，由此可见煤气回收的重要性。

二、激光束监视炉衬蚀损和垂直喷补〔5〕〔6〕〔7〕

在准确测量炉衬损耗的基础上进行喷补，能够使炉衬寿命最佳化，从而达到延长炉龄的目的。下面就炉衬损耗的测量技术和喷补方法进行简单介绍。

1、AGA·IMS 1600—激光束监视炉衬损耗技术

冶金炉的耐火炉衬费用在钢铁生产成本中占很大比例。由于冶炼过程和使用的炉子不同，炉衬损耗有很大差异。通过稳定的炉子操作，合适的炉衬材料以及所选的炉衬相适应的操作方法，可能获得较长的寿命和较低的炉衬费用。

在设计工艺流程和炉衬技术时，主要应考虑炉衬损耗的变化。与早期的目测方法比较，确定炉衬损耗程度的方法已有很大进步。例如，摄影测量法，放射性同位素等都是当前应用的更先进的方法中的几个例子。然而，这些方法中没有一个能提供炉衬厚度的准确数据。

1974年，一种新方法被采用——用激光束测量炉衬厚度。其基本原理是对炉衬进行多点测量。每个测量点均用转换成球坐标的垂直和水平角度以及距离来表示，并将其与预先贮在微型机内的安全炉衬轮廓相比较，这样就能迅速确定各测量点的炉衬残厚。此装置是由AGA（美国煤气协会）研制的，故称为AGA IMS 1600。由于该设备迅速而简单的操作及其高精度的测量，使之成为最适用于监视炉衬损耗的仪器。

（1）炉衬蚀损测量

AGA IMS 1600激光束测量系统包括下列电子-光学仪器：

- 一台氦-氖激光器，带有发射和接收激光束的测头。它有两种操作方式：分别为对应于精密测量的高频光和对应用于近似测量的低频光。

- 一个盘式系统，用于角度测量并以适当的形式将数据送入计算机。

- 带打印机的台式计算机，用于炉衬轮廓的形式处理和绘制信息。

另外还有热屏蔽、冷却风扇和空气过滤器。这样，测量可在炉衬温度高达1600℃的情况下进行。

本装置采用了由球坐标和矢量数所确定的炉衬的几何结构。测量仪器安置在距炉口5~25米远的一个任选位置上，使所选的测量位置和参考点均在仪器的视野之内。仪器的位置通过炉子上的三个参考点A、B、C与炉子的坐标系相关联（图1-9）。

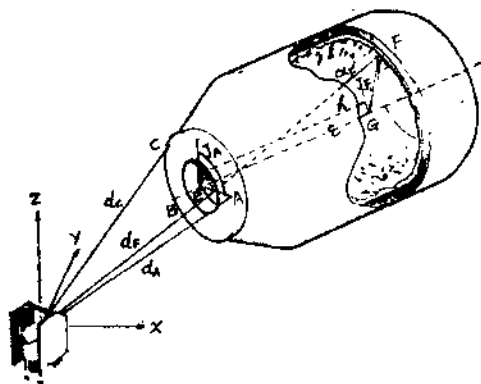


图1-9 炉衬厚度测量的坐标系

测量精度为±5mm，测量转炉每一边时间约需20min，包括校定时间。测量的时序图示于图1-10。

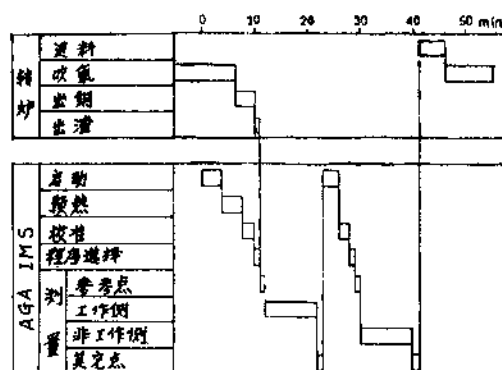


图1-10 炉衬测厚时序图

（2）炉衬损耗及喷补

在转炉内不同位置，炉衬损耗也不同。在底吹转炉中，损耗最大的地方在炉底。

图1-11描述了使用AGA系统，是怎样来确定在230吨Q-BOP转炉内损耗形状的变化。最大损耗区域逐渐移向炉底部。

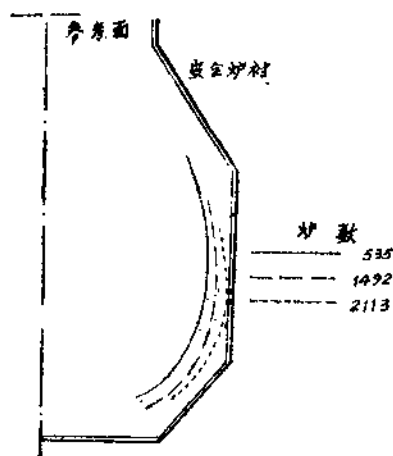


图1-11 AGA系统确定炉龄期间230吨Q-BOP转炉内炉衬损耗形式的变化

为了确定炉衬区域的设计，有必要确定损耗形状并给出损耗原因，要想达到这个目标，唯一可行的方法就是使用AGA仪器。使用这种仪器，就有可能仅在一个作业周期内就获得足够的信息，可以进一步研究炉衬设计。

另外，喷补与分区域砌筑炉衬相结合，即使在损耗遍布转炉的情况下，也能使炉衬寿命最佳。为了说明喷补效果，一个钢铁公司曾喷补了转炉一侧的炉衬（0.3kg/T），而留下另一侧不喷。用AGA仪器测量表明，喷补改善了炉衬损耗情况（图1-12），炉衬寿命增长了23%。

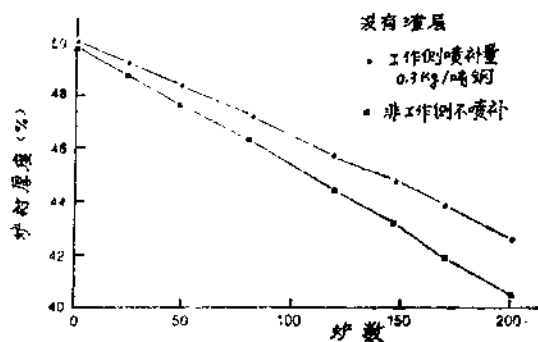


图1-12 喷补效果

由于AGA系统的使用使炉衬寿命的延

长，以及喷补料消耗下降的情况均示于图1-13。

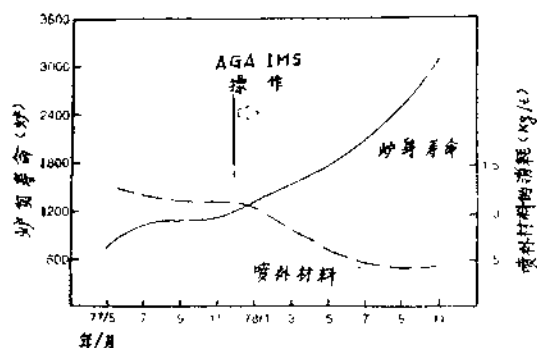


图1-13 由于使用AGA系统使炉衬寿命的延长及喷补材料消耗的减少

由于可用于喷补的时间很短，因此对喷补设备的要求很严格。日本人已开发了一种喷补机器，装有可旋转、弯曲的自动臂，可达到用其他方法难于达到的地方。该设备可在指定的损耗区域内进行快速而方便的喷补。

由于喷补要占用生产时间，应避免过多的喷补。当AGA测量显示出在炉内损耗最严重的区域内的炉衬残厚时，就从每三炉后开始喷补。通过增加喷补频率，就有可能维持恒定的炉壁厚度，甚至能增加炉壁厚度。（见图1-14）。

在研究中发现，渣线底端的最小炉衬残厚以及耳轴侧壁的平均厚度都与生产炉数有关。于是确定喷补频率为喷补次数除以50，即50炉。喷补从500炉以后开始，并逐渐增加喷补频率。喷补一开始，耳轴处的损耗就减少了。在喷补特别困难的渣线处，损耗也最严重。在转炉底部，渣层使炉衬增厚。

上述结果又一次说明了连续绘制损耗形状图的重要性。测量必须很迅速，使绘图能在两炉间完成，或在其他延迟期间完成，而不影响生产。有时，从生产角度出发，有必要延长炉龄，甚至超过最佳极限。在这种情况下，就需要进行一次特别彻底的炉衬损耗

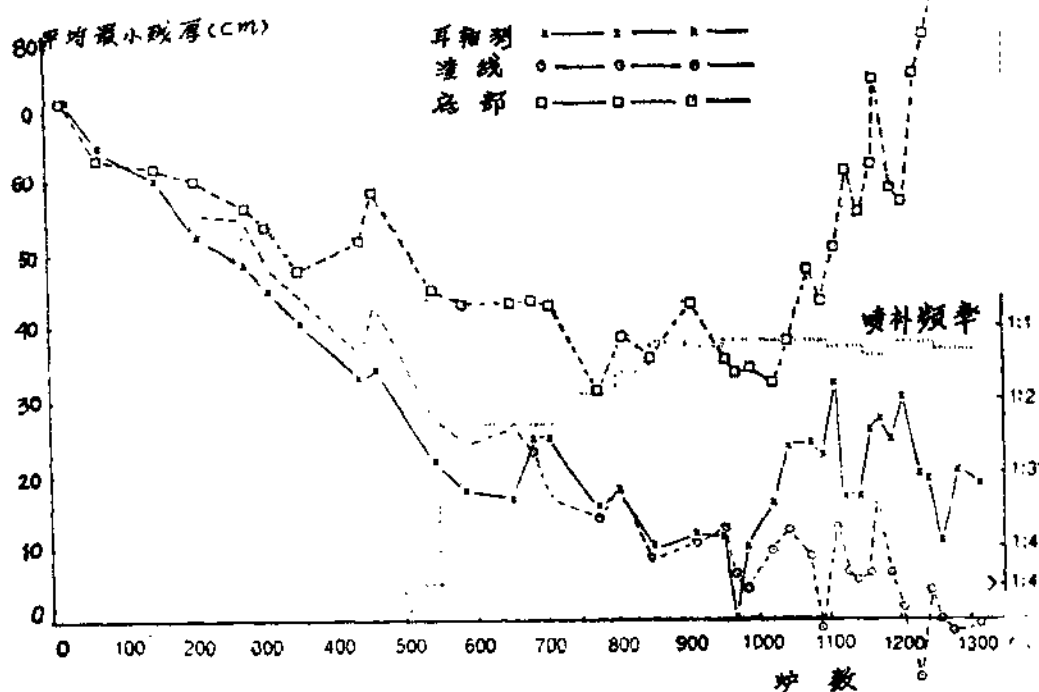


图1-14 炉子使用期间炉衬厚度的变化及喷补的效果

检查, 并进行喷补。连续监视炉衬厚度是极其重要的, 因为在一段安全炉衬上的损耗可能意味着这块炉衬会改变, 或者从最坏结果设想, 可能会发生炉子烧穿现象。

由于炉底损耗是Q-BOP的主要疑难区域, 因此应使炉底损耗与炉子其他部分的损耗相匹配, 图1-15为利用AGA仪器和喷补, 使炉身炉衬寿命与炉底衬寿命相匹配的

示意图, 即当第二层炉底衬必须更换时, 转炉的其它部分也准备重砌炉衬。

(3) 炼钢技术的研究

由于两个钢厂的各种条件是不可能完全相同的, 所以也不可能精确地确定各钢厂的过程变量是如何影响炉衬损耗的, 因此, 有必要为各个钢厂确定其过程变量和炉衬磨损之间存在的特殊关系。使用AGA仪器连续而细致地测量炉衬损耗能使研究时间大大缩短。

影响炉衬损耗和使炼钢过程最佳所需测量的变量包括:

1) 吹氧技术, 包括不同氧流量的效果, 以及在考虑炉渣成份, 磷控制, 残留的锰, 喷枪寿命, 溢出等条件时的喷枪设计和喷枪高度。

2) 与最佳耐火材料选择, 铁水包的位置以及与装料量有关的装料技术。

3) 与炉渣结构、石灰分解以及与渣壳有关的选渣技术。

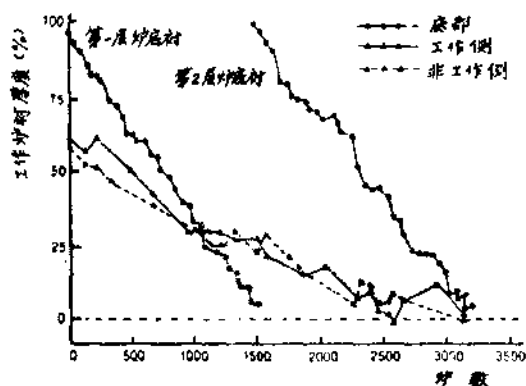


图1-15 通过喷补技术使炉底和炉身炉衬寿命匹配的示意图

- 4) 铁水成份。
- 5) 钢成份和温度。
- (4) 操作计划和维护

有效的操作和维护计划是很有必要的。避免意想不到的操作故障的最好方法就是连续地检查和维护设备。所有预测到的生产中断,例如炉身炉衬问题,要尽可能地与修理和维护工作相一致。

一些使用AGA仪器有规律地测量炉衬的钢厂已发现在停工时间内所进行的修理工作量增加了100%,从而使生产时间的连续性得到保证,炉身可利用率相应提高了20%。另外,AGA系统能使转炉换衬计划变得更灵活,如果由于某些意想不到的原因,不能按计划给转炉炉身换衬,可通过以炉衬损耗的烧穿检查为基础的炉衬厚度测量,进行强化喷补来延长炉龄。

规定一个生产计划,所需要的信息包括:钢种、产品类型、产量和交货时间。更

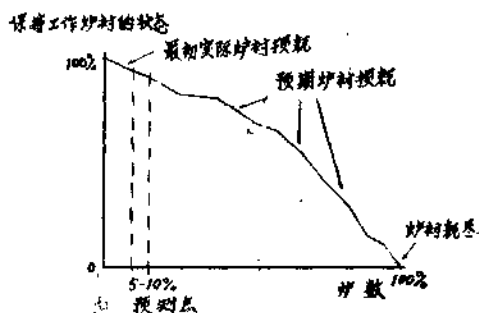


图1-16 预测炉衬寿命示意图

重要的信息之一是转炉的状态和转炉车间所能保持的生产时间,或者如果车间生产能力下降,何时能恢复到正常能力。从炉衬损耗的测量中可以得到对这些问题的答复。一个使用一台AGA仪器的工厂定期预测转炉将停产的日期(见图1-16)。预测是在100炉后进行的,或者是在炉衬总寿命损失约5~6%的时候。

由于炉子烧穿而造成的计划外停产,会

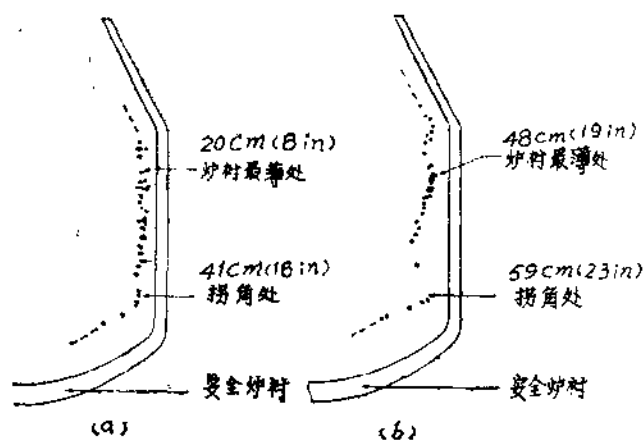
产生经济损失以及严重的生产问题。实践证明,使用AGA进行有规律的炉衬损耗测量,可以避免炉子烧穿问题,并能在需要的时候,通过强化喷补和严格的炉衬控制来延长炉龄,从而达到节能的目的。由此可见自动化仪表在节能中的重要作用。

综上所述,使用AGA IMS1600系统,能对转炉炉衬损耗进行高精度跟踪,并能提供迅速的信息和以易读的形式显示出炉衬轮廓的测量结果。测量结果可以用来细致地检验炉衬损耗和炼钢参数之间的关系,使过程最佳化,并发展喷补和炉衬技术,进而延长炉龄,降低能耗。另外,此系统还能提供生产计划和维护及改进生产计划的能力。

下面通过Stelco的Lake Erie厂来说明采用AGA激光测厚仪及喷补技术使炉衬寿命最佳化的问题。

此厂炼钢车间有2座BOF,容量为240吨。最初炼钢平均炉龄是1025炉,虽然炉龄期是令人满意的,但是炉衬磨损的检查表明,在一些工作炉衬上不规则的损耗轮廓和区域仍然存在。在一个炉役期间,对炉衬厚度的精确认识将有助于延长炉衬寿命。因此,1982年Stelco购置了一套激光测量装置,它能精确地确定任意位置炉衬的厚度。通过炉衬轮廓的测量,可以算出耐火材料操作系数的结果,确定有问题的区域,安全地延长炉龄。经过实现喷补操作最佳化以及修改装炉操作,使炼钢车间实现了炉龄超过3000炉。

在LEW(Lake Erie Work),每周检测2次炉衬,或约每40~50炉测一次,炉衬整体观测约需45分钟。在AGA装置检测炉衬后,工作炉衬轮廓立即在BOF控制室绘制并显示出来,炉身,进料处及出钢区的剖面图相应示于图1-17、1-18、1-19。这些剖面图间接地反映了发生高损耗的区域。测量数据均输入并存储于炼钢计算机中,以备将来利用。正在蚀损的耐火材料的消耗量可以与喷补消耗以及其他炼钢变量相比较。



(a) 东侧耳轴 (b) 西侧耳轴

图1-17 3, 411炉后耳轴炉衬剖视图

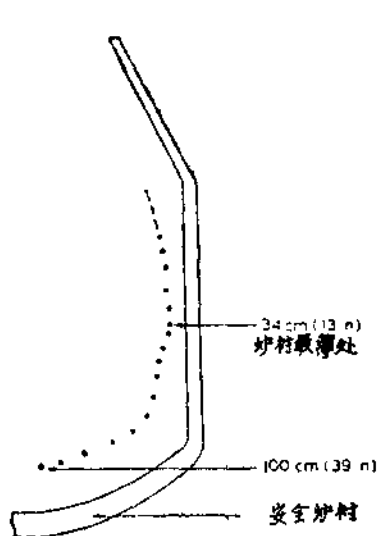


图1-18 3, 411炉后进料处炉衬剖视图

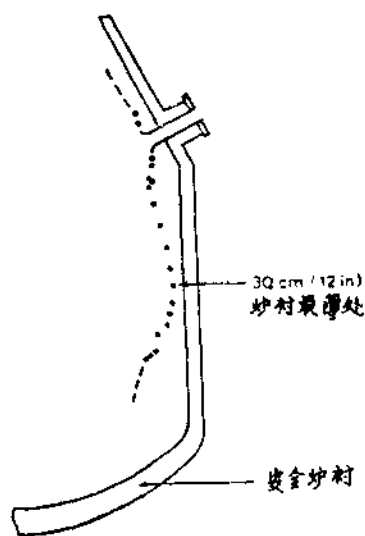


图1-19 3, 411炉后出钢区炉衬剖视图

在没有喷补的早期炉役，炉衬蚀损率平均为1.13mm/炉（见图1-20）。由图上可以看出，喷补要适当，喷补量大，炉衬损耗

率少，但若喷补量过大，则会引起喷补料的堆积。

若没有喷补，初始工作炉衬厚度为

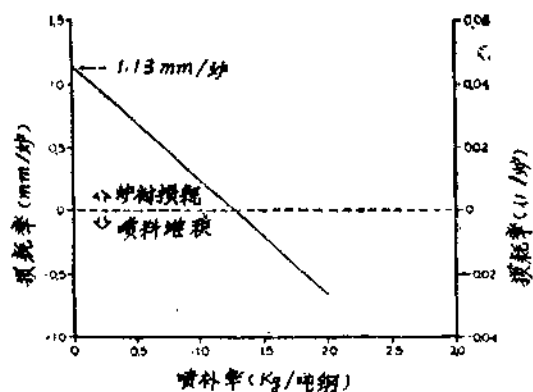


图1-20 炉衬损耗率与喷补材料消耗之间的关系

914mm, 在约800炉后就蚀损到安全炉衬临界厚度。在当前炼钢操作中, 为使炉衬损耗最小, 每三炉将喷补910kg材料(1.26kg/吨)。用喷补材料保持一个合适的工作耐火炉衬厚度, 已经使这个车间减少了炉身工作炉衬厚度。

在初始炉衬侵蚀到约200mm时进行喷补。为保持工作耐火材料厚度在200~250mm之间, 所需喷补消耗量是不同的。喷补效果可以通过在给定的炉子(8#炉)的间隔下测量的曲线所决定(见图1-21)。

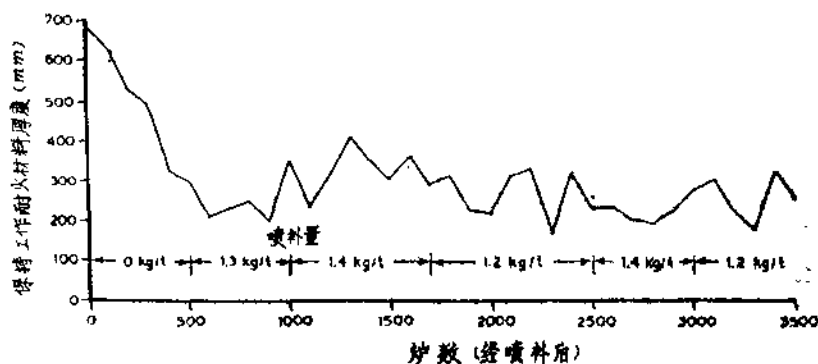


图1-21 8号炉炉龄期耳轴喷补结果测量

选择喷补的表面区域是由 AGA 测量和目测决定的。

在扩展炉龄中, 通过保持一个恒定的工作炉衬厚度来考虑耐火材料成本效益。当耐

火喷补消耗成本过量时, 停炉是一个可行的措施。在目前喷补率条件下, 当炉龄为4800炉时, 耐火材料成本最小(见图1-22)。由此可见其经济效益。

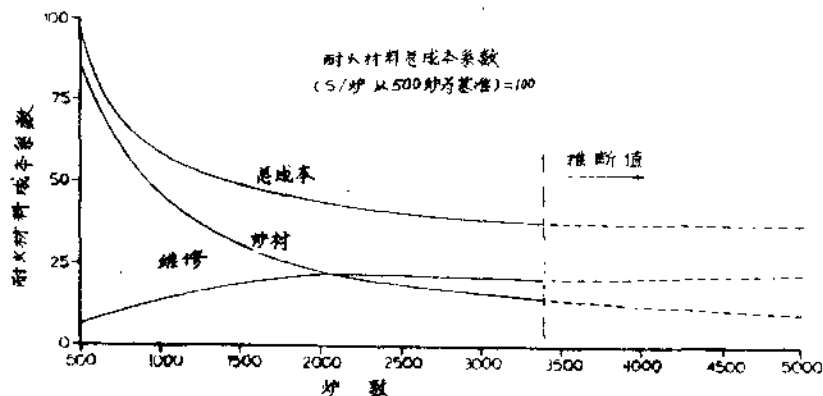


图1-22 8号炉耐火材料成本

另外,炉子侵蚀可由下列因素降低:
(1)增加出钢含碳量;(2)降低钢水含碳量;(3)降低出钢温度;(4)减少再吹次数。

LEW使用AGA仪器测量炉衬厚度取得的效益表明,AGA可以对炉衬厚度进行精确的测量,并能及时显示,通过喷补及对炉衬的控制,可以达到延长炉龄,减少炉衬损耗的目的。

2、BOF的垂直喷补处理

1982年9月21日,一种自动垂直喷补处理系统VGP(Vertical Gunning Process)在阿姆科钢铁公司的Ashland(KY)厂氧气炼钢部首次研制成功。

(1)VGP装置简介

VGP基本上是一个全自动的遥控系统,在垂直位置维修转炉耐火炉衬。VGP装置的移动与氧枪进、出转炉的方式非常相似。VGP利用氧枪在BOF烟罩系统上的开口作为喷补维修的进、出口(如图1-23所示)。

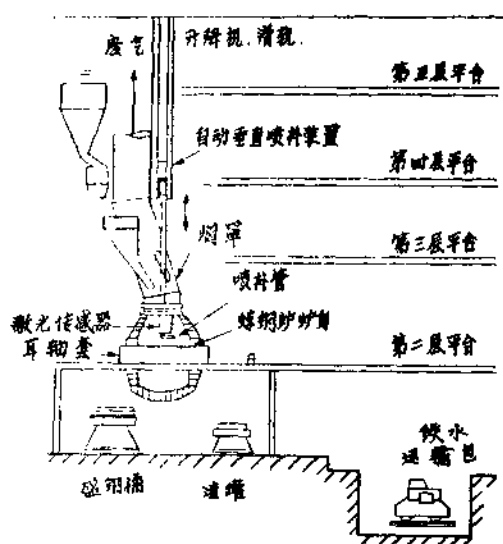


图1-23 BOF烟罩系统中接近氧枪开口处的自动垂直喷补装置和激光传感器示意图

VGP的主要部件有:1)具有再装载能力的传输系统;2)喷补装置;3)激光测

厚仪;4)用于视频监视的TV摄象机;5)带有一个可编程控制器的控制系统和CRT。

传输系统位于第五层平台。它由一个升降机,滑轨,旋转机械和带自动关断的再装载机械组成。操作控制既可在操作平台进行,也可在第五层平台上的遥控位置进行。

喷补装置由一个旋转型的耐火物喷枪和一个水冷外壳组成。外壳内含有一个闭路TV摄象机,各种温度监视装置和激光器。整个装置固定在一个与氧枪排列相似的滑动架和轨道系统上。耐火材料测量装置由一个激光系统组成。

控制系统由一个可编程控制器组成。它与耐火材料测量装置(通过视频监视器显示炉衬烧损数据)一起工作,并根据收集的数据进行喷补。此系统带有全套自动备用系统以及各种温度、压力监视装置,都安装在炉子操作台上。

(2)VGP控制系统

VGP装置,按操作员指令,手动或自动完成下列任务:

- 1)对转炉炉衬情况进行检查并录像。
- 2)指示炉衬整体状态。
- 3)确定并显示炉体烧损区域。
- 4)以激光检测结果为依据,对需要修补的炉衬进行喷补。
- 5)VGP本身的再装载。

在不使用时,将VGP放置在转炉之间。当VGP装置离开“初始”位置时,氧枪必须转入停放位置,转炉则必须处于向上位置,付枪处于再装载位置。操作员从三种操作方式中选择一种,检查炉子,喷补或人工操作。然后按下“启动顺序”按钮,使VGP从“初始”位置启动,并停在炉顶上。5秒钟后,VGP下放至炉内,检查所有炉衬并在6~8分钟内返回到“初始”位置。检查炉衬后,VGP以四个象限来显示炉内炉衬的损耗及发展情况,并建议需要何种修补。

当操作员选择修理炉衬时,只需简单地