



氧乙转炉炼钢 自动控制译文集

鞍钢情报研究所

目 录

动态控制

- 1、顶吹氧气转炉动态控制技术的发展..... (1)
- 2、伯利恒钢公司使用传感付枪的经验..... (13)
- 3、弗·克虏伯钢铁公司杜依斯堡—莱茵豪森钢厂LD过程自动化..... (21)
- 4、用音响计测定LD和OBM法的吹炼终点..... (31)
- 5、计算机在LD炼钢中的应用..... (38)
- 6、顶吹和底吹氧气炼钢过程的冶金控制..... (46)

数学模型

- 7、论氧气炼钢过程的反应模型..... (55)
- 8、碱性氧气炼钢过程的数学模拟..... (68)
- 9、向钢水熔池顶吹氧气时生成烟尘过程的数学模型..... (76)
- 10、转炉中渣和金属混合速率的模型研究..... (79)

局部控制

- 11、用测定炉内的音响强度来控制转炉吹炼法的探讨..... (89)
- 12、150吨转炉冶炼过程中吹氧量的自动分级控制装置..... (90)
- 13、转炉氧枪位置控制系统..... (93)
- 14、炼钢生产自动化的新方法..... (95)
- 15、室兰第一炼钢厂转炉的自动摇炉..... (97)

检测系统

- 16、LD转炉车间炼钢过程中所用的电子称量系统..... (99)
- 17、测量转炉炉口处炉气流量的方法..... (107)
- 18、用质谱仪的转炉废气分析系统..... (112)

生产控制

- 19、为取得用碱性氧气转炉控制系统的最大效益所必须的操作训练..... (114)
- 20、装料成份的控制..... (123)

顶吹氧气转炉动态控制技术的发展

饭田义治等

提 要

在水岛厂建成了一套氧气顶吹转炉的动态控制系统,在此系统中,用付枪测量吹炼过程中的钢水温度和含碳量,从而在必要时通过修改随后的吹炼条件而达到好的终点控制,还有一个取样系统可以在吹炼时不倒炉直接取样。

此项技术发展的主要内容如下:

一套全自动而且可靠的付枪机构,包括装上和取下传感探头的装置,一个高精度测量熔池温度和含碳量的传感探头;和一个用于取得合适试样的取样探头;一个高精度的动态控制模型。

目前,付枪系统的利用率已超过99%,温度命中率达到95%,含碳量命中率达到87%,即使是吹炼高碳钢,也能达到这个水平。

一、引 言

转炉炼钢法的炉内反应急速,生产率很高,因此,很不容易命中吹炼终点的温度和成分,特别是终点含碳量。这一命中率对转炉的生产能力有很大的影响,因此,为控制吹炼终点而作出了很大的努力。本公司在引进转炉的初期,采用根据物料平衡和热平衡的静态控制模型仍然是控制吹炼的基础。这一模型基本上只考虑吹炼初期的条件,而没有跟踪吹炼过程的变化,所以命中率受到限制。在水岛制铁所,由于掌握了吹炼过程中的炉内反应情况,并以此信息来修改吹炼轨迹,因而进入到动态控制阶段,确立了利用付枪进行动态控制和不倒炉炼钢法。

本文概述了动态控制技术的发展过程,付枪设备、测定技术和控制模型等。

二、转炉吹炼过程控制技术的发展经过

氧气顶吹转炉的出现革新了炼钢技术,使生产率迅速提高,并为终点控制技术作出了贡献。川崎钢铁公司千叶制铁所从1962年引进转炉的一年前就开始研究转炉吹炼终点的控制方法,转炉刚投产时就完成了不完全的静态控制模型,利用HOC-100计算机进行操作并进行在线计算。此后,重新研究改进了数学模型。1963年10月采用了在线计算机控制系统(日本电气株式会社的NEAC-2205计算机),实现了在线终点控制计算,从而使吹炼结束时的钢水温度、钢水中含碳量的命中率大幅度提高。其后,为了提高命中率而继续改进控制模型。

广泛地研究了国内外各钢铁公司早期采用的各种动态控制方法和技术,川崎钢铁公司从1966年开始采用投入式测温法,当年完成了将测温探头连续自动投入炉内的装置,

实现了终点温度的动态在线控制。这时的温度命中率比静态控制时提高了10~15%。

但是,为了迅速提高包括钢水含碳量在内的同时命中率,必须研制从钢水中直接取样和测温的付枪设备。1971年初在水岛制铁所开展了付枪研制工作。为了充分发挥设备的功能,使测试探头自动安装和脱落是不可缺少的。当时采用的付枪设备还没有这一部分,以后就进行了探头能自动安装和脱落的全自动付枪的研制。1972年末设置了1号付枪设备,1974年6月完成了全自动的付枪设备。得到可决定钢水含碳量的良好的凝固温度波形的测定方法和动态控制模型的研究成功,就确立了动态控制技术。

现在水岛制铁所的6座转炉上都安装了付枪设备。吹炼终点钢水温度命中率达到95%,含碳量大于0.3%的高碳钢终点碳命中率也达到了87%。千叶第二炼钢厂和第三炼钢厂(Q-BOP)取得了更好的成果。特别是Q-BOP法,由于强烈搅拌,钢水很均

川崎钢铁公司BOF吹炼控制的历史

表1

1961	开始研究静态控制技术
1963	在千叶厂安装静态计算机控制系统
1966	开始研究投入测温法
1967	在千叶厂利用投入测温进行动态温度控制 在水岛厂安装静态计算机控制系统
1970	在水岛厂安装用浸入法测温的动态温度控制系统
1971	开始研究付枪法
1974	在水岛厂完成第一套全自动付枪系统 开始执行在全部炉子上安装付枪的计划
1976	在水岛第2LD室安装付枪系统
1977	在千叶Q-BOP车间安装付枪系统
1978	完成在水岛厂的全部炉子上装付枪的计划

匀,吹炼的再现性也比顶吹转炉好,使得付枪技术的优越性充分发挥出来。在Q-BOP投产后不久,吹炼终点的钢水温度和含碳量的同时命中率就达到95%。而且,根据吹炼末期的测定结果来预测终点值的精度高达100%,从而确定了吹炼结束后快速直接出钢法(QDT法)。

三、计算机系统

计算机系统在动态控制中占有重要地位。以下说明水岛制铁所计算机系统的概要情况。表2是水岛制铁所炼钢厂设备规格。图1是计算机系统功能构成图。功能包括以转炉吹炼控制、全厂生产管理作为主要内容的整体过程控制系统。此系统有如下的特点:

(1) 吹炼控制的自动化

如图1所示,吹炼控制所必须的数据全部由计量设备联机自动输入计算机。氧枪高度、吹炼用氧气流量的调整、付原料的加入等吹炼过程中必要的操作都是由计算机发出指令,通过模拟的或数字的控制装置而自动执行的。即转炉的吹炼操作是通过计算机构成闭环控制的。

(2) 主原料的高精度配料计算

每炉钢的出钢量各不相同。而且,几座高炉出来的铁水是用混铁车供给炼钢车间

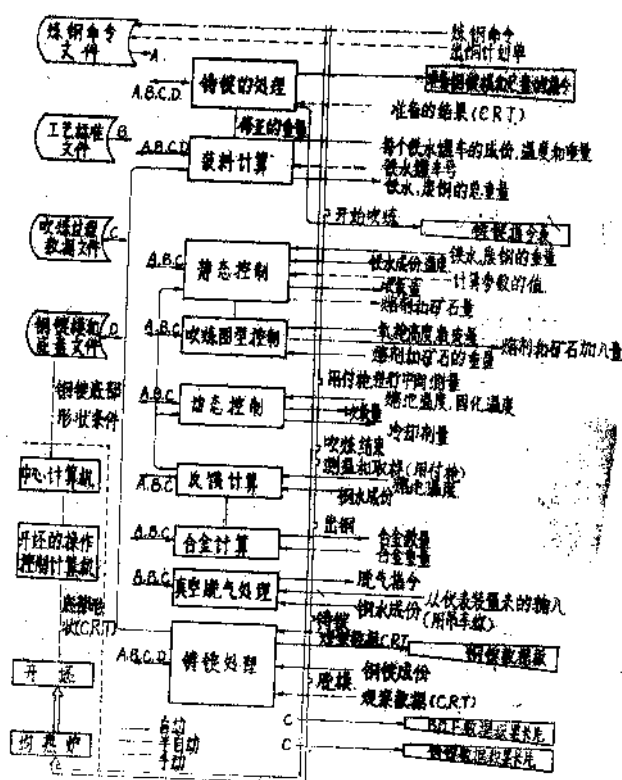


图1 炼钢厂计算机的功能

水島厂炼钢设备概要

表2

	第一转炉车间	第二转炉车间
炉 容	180吨×3	250吨×3
除尘设备	IRSID-CAFL型炉气回收系统	
铁水保存	250吨鱼雷型混铁车(无混铁炉)	
连 铸 机	3	2
钢 种	高 碳 钢	低 碳 钢
公称年生产能力	总 计 1200万吨	
开 工 日 期	1967年4月	1970年7月

的，各混铁车中铁水的温度和成分各不相同。如图1所示，为了增加良锭收得率，要按照准备好的钢锭模的特性实时调整目标出钢量、原料条件、要炼的钢水规格的差异来确定不同的吹炼操作法和不同的原料配比，就构成主要炉料配料计算模型。这个模型和静态控制模型相类似。在决定主原料配比阶段进行吹炼控制计算以求达到稳定吹炼。

(3) 向整个炼钢车间发出实时操作指令

炼钢命令以中央生产管理机(富士通株式会社的M160计算机)发出，一日一次编排生产日程，用穿孔卡片输出。它的具体内容是在实行阶段的各个过程作出具体的指示。CRT和打字机对各作业现场作出动态指示。

(4) 在线信息处理

炼钢生产中发生的信息是下一炉炼钢所必要的的数据,可分为成本管理数据、质量管理数据以及为研制控制模型所必须的技术数据。下一工序用的数据于铸锭结束时实时地送向均热段,用于编制均热炉操作计划。其它一些数据通过在线收集送向中央计算机。

四、付枪设备

4.1 设备的特点

图2示出了川崎钢铁公司研制的付枪设备全貌。付枪设备包括枪体、升降装置、水平横移装置和探头装上取下装置、搬运装置、贮存装置等所组成。

本设备的主要特点如下:

(1) 探头装上和脱落装置与贮存装置是分开的,通过传送装置连接起来设备的布置较为灵活,因此很容易安装在现有的转炉车间中。千叶制铁所第二炼钢车间的废气处理设备有余热锅,转炉上部空间很窄,安装这样的付枪系统却较为容易。

(2) 付枪探头安装牢靠程度高。即采用在枪体处于静止状态时用机械手装上探头,不会使探头损坏,安装牢靠。

(3) 测定周期短。根据转炉大小和付枪设备的布置,付枪测定周期是不同的。在

水岛制铁所,不回收探头的周期为82秒,回收探头为95秒。这对用于为实验进行连续测定是有利的。

(4) 设有大容量的探头贮存装置。不必布置在炉子正上方,所以容量的灵活性是很大的。

(5) 枪体升降装置采用了感应电动机,这比直流电动机更可靠,价格也便宜。

4.2 设备的概况

表3示出了设备的规格。对各部件简单介绍如下:

(1) 枪体

枪体由传送测温信号用的导线、冷却水进水和出水通路的三重同心管组成。枪头部有固定插头装置和插头,插头是探头电气连接部分,必须定期更换。在现场采用简单的快速更换装置。

(2) 升降装置

升降装置是电动绞车型的。根据付枪伸入炉内进行测定时升降的要求,升降速度区分为低速和高速二档。用两台感应交

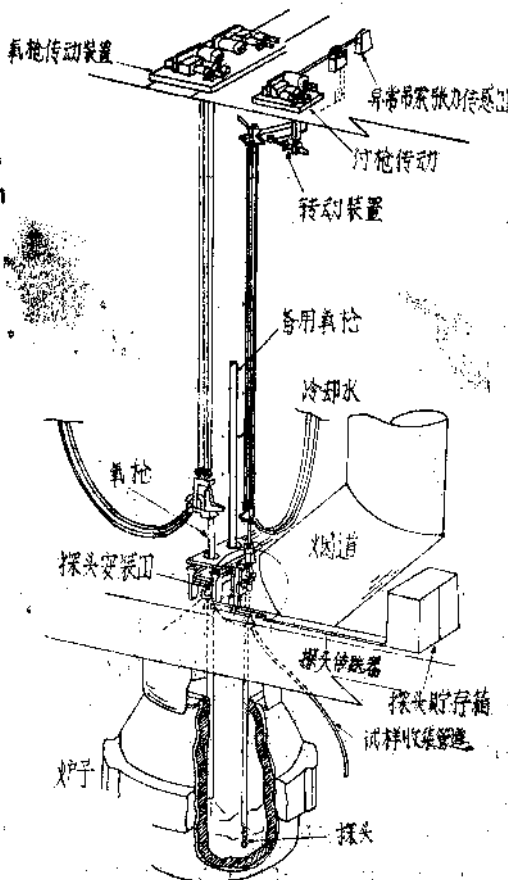


图2 水岛厂付枪系统图示

付枪设备规格

表3

装置名称	规格
枪体	类型: 水冷 (三根同心管) 外管直径: 139.8毫米 长度: 19000毫米 冷却水: 最大100吨/时 (标准40吨/时)
付枪卷扬装置	类型: 双道钢绳 速度: 75米/分, 5米/分 行程: 最大17945毫米 马达: AC55KW/AC5.5KW DC5.5KW (应急用)
枪体滑动装置	类型: 被一空气缸传动 行程: 900毫米
滑板	类型: 空气缸传动 内径: 390毫米
探头拆、装装置	类型: 电动马达传动 速度: 8.4米/分 行程: 最大100毫米
探头选择装置	类型: 马达带动气缸传动 选择角: 90° 角速度: 90°/秒
探头传送装置	类型: 辊道传送 传送速度: 10米/分
探头储存装置	类型: 4通道 储量: 100根 提升速度: 7.8米/分

流电动机就可以获得满意的结果。为处理测定过程中的停电事故, 备有应急专用直流电动机。

(3) 水平横向移动装置

转炉炉口正上方的测定位置与炉口一定距离处设置探头拆装装置, 这里有付枪横移装置。上部设回转臂, 下部有横向运行轨道。

(4) 探头自动拆装装置

图8示出了探头拆装装置的原理。用保持夹将付枪保持在静止状态, 由竖直装置将探头直立起来, 由夹持装置夹着上升, 使探头插入枪体内。同样按此方式用夹持装置将探头从付枪前端取下。两者之间的允许偏差量较大, 而且也使由于热应变而使枪体弯曲造成拆装困难的问题得到解决。测定后, 将探头由夹持装置里脱落, 然后经导管在转炉操作平台回收。

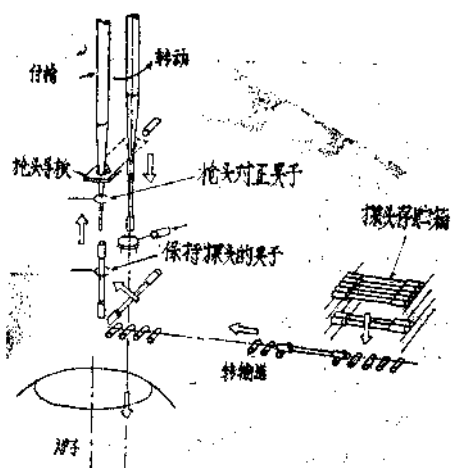


图3 探头装拆装置的原理

(5) 探头贮藏装置和搬送装置

贮藏量最少要能用一个班以上，并根据操作的要求选择探头的种类。如上所述贮藏容量较大，一般要有4种100个探头。搬送装置是由辊道和感应电机构成的，探头于水平状态从贮存装置中取出并运送到装拆装置。

4.3 计量控制装置

用于确定钢水含碳量的凝固温度和钢水温度的热电偶是装在探头内的铂铑热电偶。操作盘的纪录器纪录由计算机自动读出，并自动由凝固温度换算出含碳量。此外还有下列确认和安全装置：

- (1) 确认探头安装好了的装置；
- (2) 付枪位置控制装置的动作确认装置；
- (3) 付枪冷却水漏水检测装置；
- (4) 付枪用的线路接通检测装置。

五、测定技术的发展

5.1 吹炼中间测定用探头的研制

吹炼中使用的中间测定用探头要能准确测定钢水温度和钢水含碳量。特别，为了准确测定钢水含碳量，测温仪器要求很高，流入样杯内的钢水在凝固过程中在凝固温度上要保持一定的时间（液相线温度）。图4示出了冷却曲线图的一些例子。

测定冷却曲线用的探头样杯的材质、形状和冷却能力和钢水过热程度等都有很大的影响。

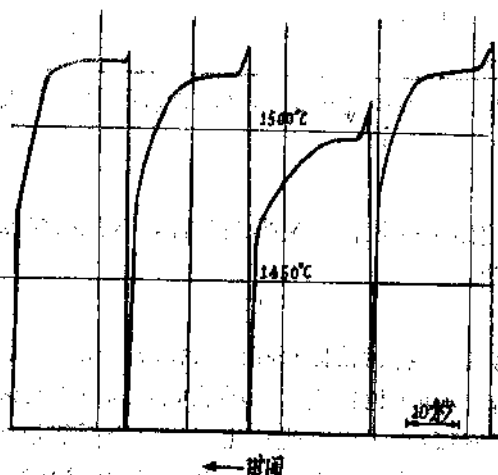


图4 用付枪测量的冷却曲线例子



照片1 付枪探头自动安装设备

(1) 样杯的材质和形状

从冷却能力的观点来看, 样杯的材质用砂型和铁型进行比较试验的结果表明, 用砂型时得出明显凝固温度的几率较高, 因此决定采用砂型。初期样杯的形状如图5中的一型所示, 曾发生过热电偶附近出现孔穴而造成异常形状的冷却曲线。为了改变这种状况, 改用将底侧边形成5%锥度, 同时改变横隔板和样杯高度的尺寸。对图5的2~5型样杯进行了试验。试验结果表明, 3型样杯成绩最好, 没有出现异常冷却曲线。

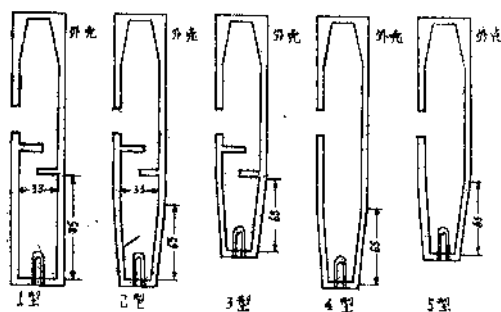


图5 测量凝固温度用样杯的比较

B型曲线)。

(b) ΔT_s 大, 样杯含热量增加, 钢水的冷却速度变慢, 由于受试样外围部分凝固潜热的影响, 能知道测温部分钢水温度上升, 如D型曲线所示, 由于在凝固面的温度梯度较大, 凝固组织的柱状结晶是非常显著的。

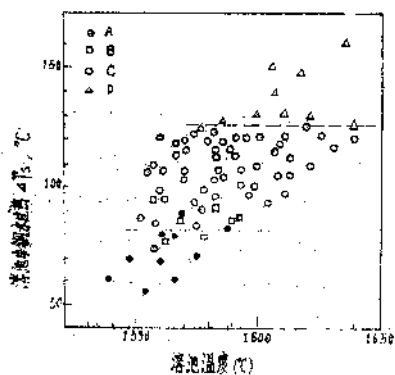


图7 在冷却图形关系中, 熔池温度和过热量 ΔT_s 热量之间的关系

(2) 钢水过热度 and 冷却曲线的关系

如图6所示, 所测定的冷却曲线有四种差别很大的类型。为了研究钢水温度和凝固温度的差和钢水过热度 ΔT_s 与冷却曲线的关系, 用3型样杯进行了实际操作研究。图7示出了试验结果。图8示出了 ΔT_s 和冷却曲线与试样凝固组织的关系。从图7和图8可得出下列结论:

(a) ΔT_s 小, 钢水流入样杯后直接生成大量晶粒、凝固快、凝固时间短(A、

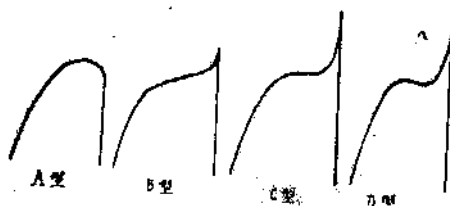


图6 冷却曲线的类型

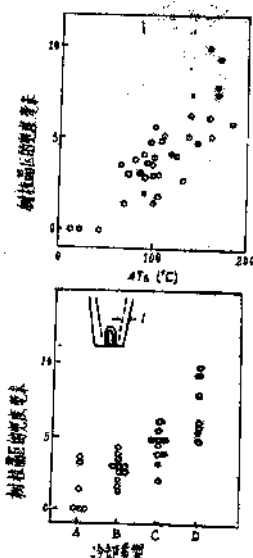


图8 树枝晶区与过热 ΔT_s (上)、凝固温度类型 (下) 之间关系

(3) 凝固温度和含碳量的关系。

表4中分别示出各种冷却曲线图型的用凝固温度和同一次试样根据化学分析法测定的各种含碳分析值的关系。指示凝固温度时间长的C型冷却曲线的精度为最好。

凝固温度 T_s (°C) 和分析的含碳量 (%) 之间的关系

表4

冷却类型	对 T_s 的回归分析	标准偏差
A	$(\%C) = -0.01056T_s + 16.296$	0.0189
B	$(\%C) = -0.01198T_s + 18.406$	0.0353
C	$(\%C) = -0.01222T_s + 18.780$	0.0132
D	$(\%C) = -0.01130T_s + 17.394$	0.0287

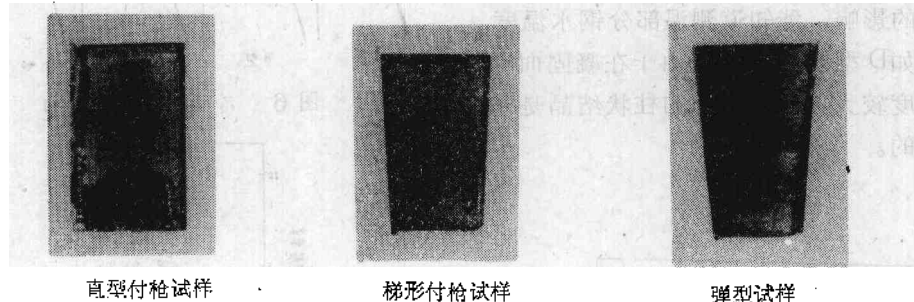
根据以上结果,为防止出现异常的冷却曲线,下部有锥度和有横隔板的样杯是有效的。为了准确测定含碳量,有必要确保流入样杯内钢水有合适的过热度。通过图5中的3型样杯中横隔板的调整和冷却能力的调整,就可以研制出能改善流入速度和流入时的钢水温度下降的探头。因此要选择有合适钢水过热度的测定时间。于是决定采用获得C型冷却曲线出现率高的良好的中间测定技术。

5.2 不倒炉取样法的发展

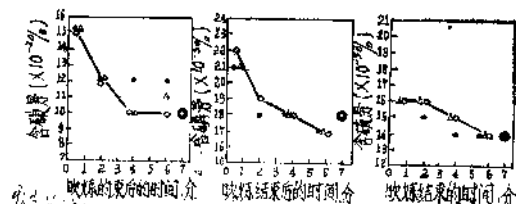
吹炼结束后,要取出对转炉内钢水成份有代表性的而又必须适合光谱分析的试样,根据以上观点,确定了进行不倒炉取样法的研制工作。

(1) 吹炼结束时取样用的探头

初期测定用的样杯是铁制圆筒形的,照片2中所示的试样中央部位发生缩孔,柱状



照片2 试样低倍组织的比较



- 从150毫米深度取出的付枪试样
- △ 从250毫米深度取出的付枪试样
- 从700毫米深度取出的付枪试样
- ⊙ 不倒炉后人工取出的弹型试样

图9 吹炼结束后C、P、S含量的变化

晶部和粒状晶部之间的晶界上出现微观偏析。光谱分析法中,在分析部位的微观偏析相当明显,C、P、S分析值的分散面比普通投入式试样的分散面大得多。其解决办法是将样杯侧面做成有5%锥度的。这时又示出了微观偏析情况,良好的试样上看不见明显的偏析。

(2) 试样分析值的代表性

图9示出了吹炼结束后在深度不同的三点同时取样的结果,以及C、P、S随时

间变化的情况。认为其原因是钢水和炉渣之间进行着反应。趋势是随着时间的推移，C、P、S含量下降。图10示出了吹炼结束之后，前后摇两次炉之后取样所得到的有代表性的例子。这一结果是钢水和炉渣进行反应、吹炼结束后摇两次炉，并使之大体镇静下来

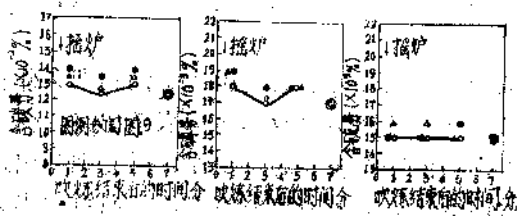


图10 吹炼结束后摇炉，C、P、S 含量
随时间变化

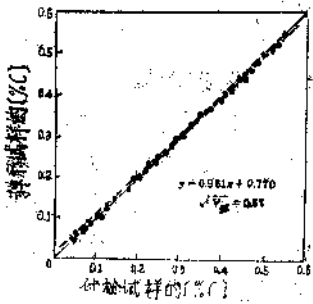


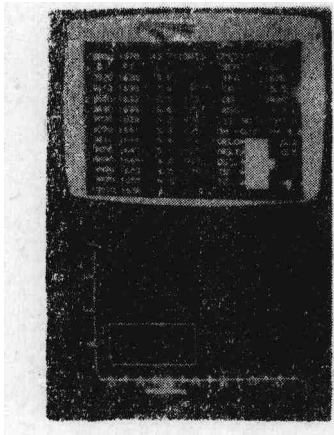
图11 转炉摇炉之后由付枪和弹
形试样分析的含碳量的比较

并判明在多深的位置取样和用通常倒炉取样分析值很好对应，作为付枪取样位置。采用在吹炼结束后摇两次炉再在液面以下700毫米处取样的方法，图11示出了用这种取样方法取样和普通倒炉弹形试样分析值的关系，两者碳的分析值非常接近，P、S的情况也是同样。

六、吹炼终点控制

6.1 吹炼控制系统的概要

图12是吹炼控制流程图。首先根据静态控制决定吹炼轨迹和付枪测定时间。吹炼中测定的钢水温度和含碳量值来表示出用静态控制预定的轨迹和实际吹炼轨迹的差别。以此测定结果为依据进行动态控制来修改轨迹，直到吹炼结束。因为测定后修改操作轨迹需要时间，所以可以设定为用静态控制确定的吹炼结束时间以前2分钟。用动态控制模型计算的结果如照片3的CRT所示。在这里，最重要的是，在测定时间所实现的吹炼轨迹假定不在动态控制领域里，那么动态控制就不可能进行。这一吹炼轨迹是由静控制



照粒3 中间测量后估计的
碳温关系CRT显示

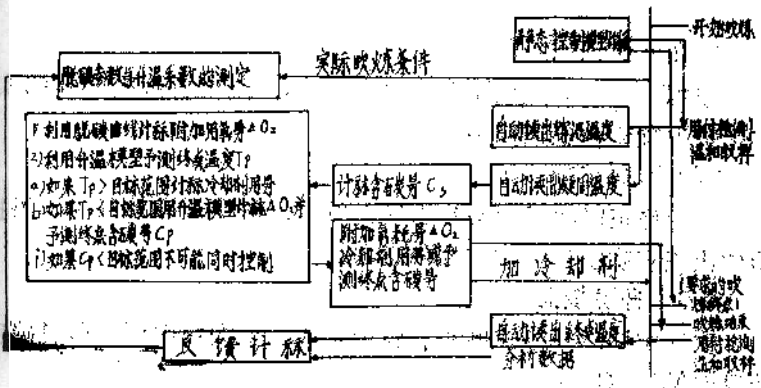


图12 动态控制流程图

所决定的。静态控制要和动态控制融为一体有可能提高终点命中率。

静态控制模型就是由热平衡和氧平衡为基础构成的。本报告中所用的静态模型的实质也是相同的。

另一方面，动态模型由脱碳模型和升温模型所组成。下面要简述这些模型。

6.2 脱碳模型

吹炼末期的脱碳图型不仅是由吹炼末期的操作条件，而且是由吹炼的初期条件和从吹炼初期到末期的各种操作条件决定的。试图将脱碳图型用数学模型表示出来，但不存在完全的表现形式。对于操作是类似的炉次，则由于有较高的再现性，可分别列出几种基本脱碳图型，对应于个别操作条件的脱碳图型与基本图型相差不大，从而可作出如下数学模型。

$$\Delta O_2 = F(C_s, C_F, DCP) + G(X_i) + \alpha \quad (1)$$

式中：F—基本脱碳函数；

G—修正回归函数；

α —修正项；

ΔO_2 —测定时到吹炼结束需要的氧量（标米³/吨·炉次）；

C_s —测定时钢水含碳量（ $\times 10^{-2}\%$ ）；

C_F —吹炼结束时的钢水含碳量（ $\times 10^{-2}\%$ ）；

DCP—决定于吹炼初期的脱碳图型分类码；

X_i —操作要素。

(1) 脱碳基本函数

吹炼末期的脱碳效率（ $-dC/dO_2$ ）近似表示的脱碳模型为钢水C的指数函数，一次函数等种种函数关系在以前的报告中都有提及。实际用下述的指数函数最合适。此函数决定于分类码DCP的参数A、B、k；

$$-\frac{dC}{dO_2} = A + B \exp(k \cdot C)$$

将（2）式从 C_s 积分到 C_F 即可得基本脱碳函数 $F(C_s, C_F, DCP)$ 。

(2) 修正回归函数。

根据关于基本脱碳图型的每次偏差，过去各阶段DCP的实际数据以及各炉子的实际情况确定修正回归函数。

(3) 修正项

在为修正时间系列偏差的修正项中，在DCP分类码中，根据最近几炉次的偏差，确定出正在吹炼这一炉次的修正项。

6.3 升温模型

吹炼末期的升温速度是比较稳定的。根据操作要素和脱碳图型，可用下式推算出升温速度 ΔT （℃）：

$$\Delta T = [H(Y_i) + \beta] \Delta O_2 + \gamma \left(\frac{1}{C_F} - \frac{1}{C_s} \right)$$

式中，H：升温速度函数

Y_i : 操作因素,

β : 修正项,

γ : 常数。

升温速度函数 $H(Y_i)$ 可根据DCP各个阶段的实际数据用回归方程式来表示。修正项 β 是用来修正时间系列偏差的, 相当于脱碳模型中的 α 。第二项是反映伴随着钢水C的降低, FeO的生成量增加而增加的放热量。

七、实际操作效果

付枪作业率保持在99%以上, 因此动态控制精度提高, 终点命中率也大幅度提高。

表5、表6列出了最近水岛制铁所第一炼钢厂的命中率和后吹率在付枪运行前和动用付枪进行动态控制吹炼命中率的提高

表5

终点目标碳 (生产的比率, %)	公差	因素	命中率, %	
			浸入法, (1976, 10~12)	付枪 (1978, 2~4)
~0.06 (8)	$\pm 12^\circ\text{C}$ $\pm 0.015\%$	温度	82.1	94.4
		碳	64.7	92.0
		同时	53.9	88.7
0.06~0.12 (44)	$\pm 12^\circ\text{C}$ $\pm 0.020\%$	温度	83.8	94.9
		碳	63.9	90.1
		同时	54.8	86.2
0.12~0.24 (20)	$\pm 12^\circ\text{C}$ $\pm 0.025\%$	温度	84.1	95.1
		碳	60.2	88.4
		同时	51.5	85.1
0.24~0.36 (15)	$\pm 12^\circ\text{C}$ $\pm 0.035\%$	温度	85.4	95.7
		碳	59.3	87.1
		同时	51.7	84.6

用付枪动态控制后吹率的减少

表6

后吹原因	后吹率, %	
	浸入法 1976, 10~12	付枪 1978, 20~4
温度	7.2	3.1
碳	6.2	1.1

态控制后的比较。采用动态控制后, 吹炼结束时的精度提高了, 转炉耐火材料的单位消耗降低了, 金属收得率和合金收得率提高了, 钢中含氧量低而且稳定, 提高了产品质量, 整个炼钢技术水平大为提高。

八、结 论

作为获悉吹炼中炉内反应进行情况的一种手段，确立了同时测定吹炼末期钢水温度和含碳量的付枪技术。采用这种方法进行转炉炼钢吹炼终点的动态控制，使终点控制精度大幅度提高。今后的发展方向是除脱碳和升温之外，有必要进行将脱磷、脱硫等包括在内的综合动态控制，这样就对收集炉内反应信息的检测手段提出了更高的要求。为此目的，有赖于研究各种方法，本公司已确立了测定氧枪纵向振动的技术，不久的将来就可实现运用一种吹炼程序化的自动吹炼法，时刻掌握炉内情况。到那时将实现从开始吹炼到吹炼终点的综合动态控制的全自动炼钢技术。

由于这种控制技术的发展，就能最大限度地挖掘氧气顶吹转炉的潜力，并利用钢罐精炼技术进行稳定的成份调整。相信在不久的将来必然能完成将出钢控制也包括在内的综合控制系统。

附表 最近效果的比较

终点碳和温度同时命中率	用付枪动态控制	全自动吹炼控制
	86%	98%
飞溅率	23%	3%
金属收得率相差	○ (标准)	+5%
炉 令	1500~1600次	2200~2500次

孔金满 译自：《川崎制铁技报》，

1978, Vol. 10, No. 4, 35~48。

蒋慎言 校

伯利恒钢公司使用传感付枪的经验

D.W. 开恩等

伯利恒钢公司在其伯利恒厂的270吨BOF上完成了基于吹炼中传感付枪测量和吹炼过程中的计算机控制的动态控制系统。此系统是在1977年11月开始运转的。控制系统的核心是传感付枪。在按下按钮或从过程计算机发来命令时，付枪就测量熔池碳和温度，并从直立着的转炉中取出一个适合于作光谱分析的钢样。在吹炼过程中用传感付枪测得的液相线碳和熔池温度被过程计算机用来计算为获得目标值所需要的氧量和冷却剂用量。包括取出光谱分析试样在内的传感付枪的操作是用一台微型机控制的。

这一控制系统的采用提高了获得目标碳和温度的准确性，因此，不需调正（后吹或冷却）而出钢的炉次数几乎增加了一倍。传感付枪的使用，使取样时间减少19%，用传感付枪在直立的转炉中进行测量而出钢的炉次已有1000多炉。这些结果证明，吹炼中传感付枪测量极大地改善了过程控制，可以取消倒炉取样。

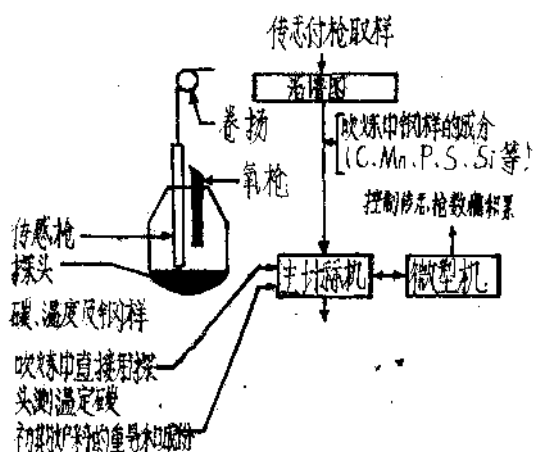
早在1963年8月，在伯利恒钢铁公司的第一座碱性氧气转炉投产前14个月时，伯利恒钢公司就提出了从直立的BOF中测量熔池温度和取钢样的想法。到1967年12月，利用测量熔池温度和用液相线方法测定熔池碳的方法控制了第一炉270吨转炉钢。这些测量是用一个安装在水冷付枪上的探头，在短暂停止吹炼过程中，在直立的转炉中测量的。到1968年10月进行了在吹氧时用付枪测量的第一批试验。

1970年5月，传感付枪在伯利恒厂投入生产使用，包括伯利恒设计的内走头枪体和探头自动传送器。这种传感付枪用于过程控制显著地增加了不用其它校正操作而出钢的炉次。1973年8月，付枪在生产线上的使用停止了，原因是探头质量不稳定，探头成本也增加了，探头生产厂不能化费大量投资去提高探头质量和降低探头生产成本。因为只有一根付枪，所以不能消耗大量探头。因此，虽然传感付枪显著地改善了过程控制，但仍然不能把付枪安装到其它转炉车间。实行中断吹炼法所节省的1~2分钟时间不足以收回将传感枪安装到现有车间所花费的投资。此外，大多数车间的生产能力过剩。

到1976年，伯利恒重新估价了传感付枪对过程控制的作用。对过程控制方法的评论表明传感付枪有明显的优点，因为它使许多钢种的碳和温度的控制获得改进。提出了一种动态控制系统，在此系统中，传感付枪在吹氧过程中，在主吹炼结束前的1~2分钟能获得要求的测量值。传感枪也可以在主吹炼结束时从直立的转炉中取出适合于光谱分析的钢样。

动态控制系统

动态控制系统包括一静态装料模型，吹炼过程的计算机控制和吹炼过程中作传感付枪测量。这一控制系统的概念示于图1。此图说明了在炼一炉钢的过程中，过程计算



自动过程控制建立在计算机计算装料和在吹炼过程中校正碳和温度测量值的基础上。

主计算机执行下列功能：自动进行装料计算、调节氧流量、调节氧枪高度、选择熔剂添加量、在合适的时候停止吹炼、数据积累。

图1 BOF动态过程控制

控制系统分成三个子系统：

- 熔剂批料系统
- 吹氧系统
- 传感付枪系统。

这三个子系统的每一个都可以按自动、半自动和手动这三种方式中的任何一种来操作。在自动方式中，计算机激发所有的状态变化；在半自动方式中，硬件激发所有的状态变化，在手动方式中操纵工激发所有的状态变化。按钮炼钢要求所有三种子系统都以自动方式进行操作。

伯利恒钢厂的研究部门发展、试验并评价了BOF过程的动态控制系统。此项工作是在伯利恒公司与厂方人员配合进行的。选择伯利恒厂作为试验地点是因为该厂有：

1、有一部好的静态装料模型性能史；2、有许多为计算机控制熔剂批料和吹氧所需要的特性；3、有一根可用来改造成吹炼中测量用的付枪。虽则该厂有这些特点作为它原有控制系统的一部分，自从BOF投产以来，吹氧系统和熔剂批料系统都没有实际按自动方式运转过。在原先安装时，两个系统都不适应处理操作条件变化的要求，特别不适应第一年生产中所遇到的变化。而后，这两种系统主要是用半自动方式操作的。

在发展动态控制系统所作的许多努力中包括对硬件和计算机软件作许多必要的变革使自动方式变成一种实用的、合乎要求的操作方式。例如，用老的系统，枪位的变化只能通过计算机房中编程人员的控制台改变一个存储器中所存储的值来实现。也不可能在需要时减少氧流量或由于延迟点火被迫调节计算的氧流量。采用新的系统后，象这类变化将由计算机自动执行或由操纵工执行。

机、微型计算机和传感付枪系统之间的相互关系。过程计算机进行全部必要的计算，选择熔剂并控制吹炼。微型机对传感付枪进行顺序控制。传感付枪获得过程控制所必须的碳和温度测量值，也用于获得适用于光谱分析的试样。当过程控制通过静态装料模型，能在传感付枪测定后的1.5~2分钟的剩余吹炼时间内使这炉钢符合目标值要求时，采用传感付枪就能获得最大的好处。伯利恒的经验证实了其它钢厂的经验，装料模型的最佳性能是通过将吹炼方法标准化和严格遵循装料模型来实现的。

吹炼方法和加熔剂的计算机控制将改进静态模型性能。

微型机控制传感付枪的顺序而过程计算机读出轨迹，进行吹炼中计算，改变吹氧量和冷却剂设定值，因为在吹炼中间试验之后的剩余时间内，操纵工不能执行所有这些功能。

已经发展并试验了自动控制吹氧的控制方法，但是熔剂配料的自动方式仍处于发展阶段。

传感付枪系统

传感付枪系统包括：

- 探头自动馈送器，
- 存贮10个探头的存贮匣，
- 水冷内送探头付枪，
- 取样系统。

自动馈送器、存贮匣和传感付枪的基本设计在以前已作过说明*。

安装内送探头付枪的决定是在将这种设计与外上探头付枪作了比较，全面权衡利弊之后作出的。选择内送探头付枪的理由是：

- 保证在邻近开口烟罩废气系统中的又热又脏的气氛中探头的可靠性，
- 探头在达到测量位置之前一直得到保护，
- 如果碳或是温度的测量结果不好，可以在4秒钟时间内另换一个探头。

可以快速送第二个探头的能力是内送探头付枪的最大优点。在伯利恒的操作方法中，不能避免未熔化的废钢或未溶解的熔剂与探头相碰的可能性。要在单个外上探头的付枪设备中进行第二次检测只能通过卷扬将付枪提到最高位，装上第二个探头再将付枪下降到检测位置后才能进行。据报导，整个过程需要1分多钟，这样一来，如果第一次测试失败了，那么过程控制也无法进行了。

传感付枪直径9吋，长56呎，包括探头馈送器和进出水软管在内，付枪全重约4500公斤。付枪由三根同心管构成，枪的重量悬挂在内管上，另外两根管在枪头处是滑动连接的，以适应热膨胀。付枪内的冷却水流量是700加仑/分。冷却水由BOF车间的循环泵供给，此循环泵还将冷却水供给氧枪和烟道、熔剂溜槽。付枪和氧枪都装有水的检漏器和应急切断阀。

付枪通过烟罩上侧的一个孔进入炉内。氧枪和付枪的中心距为44吋（约1.1米）。氧枪喷口可以相对付枪任意取向而不会使付枪受氧气流股的烧制。付枪卷扬有四种卷扬速度，设计最高速度200呎/分，最低卷扬速度为50呎/分。微型机将付枪停在预定的检测位置，定位误差 ± 0.75 吋。

配置了两个试样回收系统。这样，试样就可以从枪位的任一停放位置回收试样，从哪个位置回收决定于哪根氧枪在吹炼中。图2示出了两根氧枪都处在停放位置，以清楚地显示出回收系统。此系统包括一可伸缩的把手用来把住探头纸壳管，一个配有硬质合金锯片的3马力气动锯，一个使锯锯切纸壳管探头的走行机构。气动逻辑控制线路顺次启动把手、空气马达和走行机构。

在传感枪测定并提到停放位置之后，由微型机或按操纵台上的按钮来启动回收钢样操作程序，装有光谱分析试样探头的18吋长的下段被锯切下来。图3示出了切割探头的试样回收系统，为说明清楚起见，图中所切的探头是没有用过的。探头切下的部分通过

* 美《金属杂志》1971, No. 8, PP. 3~19, 见《钢铁译丛》1972年第2期一译者注