

目 录

1. 35年来LD的进步和成就及氧气炼钢的发展前景	(1)
2. 北美氧气炼钢概况	(14)
3. 苏联碱性氧气炼钢方法的新趋势和展望	(22)
4. 日本氧气炼钢的现状与发展	(31)
5. 西欧氧气炼钢的现状与发展	(42)
6. 中国氧气炼钢的现状与发展	(52)
7. 艾莫依登——霍戈文斯氧气炼钢技术的发展	(58)
8. 克劳克纳钢铁公司格奥尔格斯马林厂KMS工艺的发展	(60)
9. CST顶吹转炉炼钢车间的现状和展望	(64)
10. 配入高锰原料的优质钢的生产	(65)
11. 新利匹茨克钢铁公司氧气转炉生产优质低合金、低碳钢的工艺特性	(66)
12. 采用底部搅拌的LD法的进展	(70)
13. 在转炉顶底复合吹炼中采用CO为搅拌气体	(76)
14. 氧气顶吹转炉精炼低硅铁水的特点	(80)
15. 用复吹法精炼不锈钢的进展	(84)
16. 用最优化方法生产低杂质钢	(90)
17. 克虏伯钢公司采用KCB直接出钢工艺使氧气转炉炼钢工艺优化	(95)
18. 奥钢联林茨转炉钢厂的综合工艺控制	(101)
19. 索拉克厂的LWS炼钢车间煤气回收和利用的最佳化	(106)
20. 铁水脱硫	(111)
21. 铁水包中高磷铁水的脱硅处理	(116)
22. 适用于预处理铁水的氧气转炉吹炼技术的改进	(120)
23. 基于铁水预处理的碱性氧气转炉技术	(127)
24. 法国的铁水预处理工艺研究	(133)
25. 奥瓦考公司Koverhar厂LD车间效率的提高	(140)
26. KURE工厂铁水预处理过程的操作	(142)
27. 英钢联各钢厂铁水成份变化对炼钢控制和成本的影响	(144)
28. 白云石添加剂延长顶底吹转炉炉衬寿命的作用	(151)
29. 顶底吹转炉提高耐火材料寿命的操作技术	(158)
30. 美国俄亥俄州阿母科公司Middletown顶吹转炉车间耐火材料的应用	(164)
31. USINOR钢厂转炉耐火材料的发展	(169)
32. TARANTO钢铁公司LD转炉底部供气元件的使用寿命	(172)
33. 索里梅转炉耐火效果的改进	(173)
34. 氧气转炉炉衬——英国使用镁碳材料的经验	(177)
35. 氧气炼钢转炉炉衬耐火材料	(183)

35年来LD的进步和成就及氧气炼钢的发展前景

L. V. Bogdandy; W. Krieger

阎峰 译 李林夫 校

1. 氧气炼钢开发和进展的竞争、动力及社会政治因素的概况

今年是LD炼钢法35周年。冶金工作者绝不会怀疑, 1952年11月, 林茨厂第一座LD转炉的掘起是传统炼钢方法的真正变革, 是整个炼钢史, 特别是氧气炼钢史的里程碑。在以后的年代里, LD转炉炼钢法根本地影响了与之相竞争的炼钢方法, 也根本地影响了前后工序。同时, LD炼钢法本身在能动的发展过程中, 也受到了其它炼钢方法的影响。

在这样的日子里, 需要对LD炼钢法的发展进行回顾思考, 去分析其现状, 并努力预测其发展。我们绝不应该忘记那些人们, 他们从无中倡导、开拓, 摇动了后代人稳定地建立起来的炼钢技术, 同时实现了炼钢的新的基本概念。首先应该提到的是苏伊斯, 由于不幸的事件他没活到能看见1959年奥地利联邦政府在纪念会上对其合作的发明者们高度评价的那一天。与其合作的发明者有豪特曼、瑞奈施、克莱普、格罗斯、昆奈特、库斯克勒卡和若斯诺。

这些LD炼钢法的发明家们, 除了许多其它的特殊荣誉外, 在1952年还获得了联合国教科文组织的科学奖。

在对氧气炼钢发展的回顾思考中, 提出了一个这样的问题: 导致发明和改变传统技术的因素是什么? 影响工艺进步的因素是什么? 就此问题, 首先应该作一些基本考察。

知识和经济在竞争中得到发展, 一要通

过思想交流, 二要通过商品交流。这两种交流都是能动的过程。经验表明, 经济的发展和技术的进步都是不平静的。在平静时期的后面总是跟着一个动荡的时期。1926年苏联经济学家克思特拉提夫指出: 大量技术发明的实现总是与过去和现在一直都是很重要的作为持续40~60年的长的周期运动的经济高涨时期相同步的。像蒸汽机、铁路和电的发明都引起了长时期的经济高涨。在这方面, 应该提到美籍奥人经济学家, “创造性的破坏”的理论之父舒姆波特。根据他的理论, 经济发展的波动是与技术革命相关的。在解释经济发展时他说: 不稳定的冲击和相对的平静时期交替发生——这一过程意味着不是正在进行技术革命, 就是正在吸收技术革命的成果。

面临着关于促进特殊技术(如我们评论的炼钢)发展、进步和衰落的原因这样的问题, 我们发现, 竞争和能动因素影响发展的过程, 并最终导致“适者生存”(根据斯宾塞和达尔文的理论)。

这些因素起什么作用?

——开始提出了一个想法。这个想法可能只考虑了主要方面, 或者是由于经济压力只能以有限的和适当的方式发展。而且不能确保其发展的确切形式。进一步的发展在很大程度上取决于技术和经济的发展形势。一个新的想法几乎总是同时以各种不同的形式表现的。这时竞争的因素受到重视, 导致选择。和最终去突破最经济的方案。

——新技术突破后，能动的发展开始导致产量和生产率的不断提高。这个阶段的发展受连续争取有利的生产成本和某些方面具有优越性的其它方法竞争因素的影响。在使此成功的方法完善时，这些竞争因素的影响变得更为明显。再者，发展了新的派生工艺，以对付特定领域的特殊要求。

——在某一时刻（不一定在什么时候，也可能就在该法出现的初期），新的想法或许依赖于大量的组织条件得以实现。这就是新想法的发展和实现过程。

炼钢是上述顺序概要的典型例子，即以平炉炼钢法称为“旧”及氧气炼钢代表“新式”方法。氧气炼钢的引入影响钢铁工业的程度，通过世界钢产量从50年代初的约2亿吨到70年代的大致7亿吨的迅速增长反映了出来。钢产量的增长几乎与LD的钢产量相等。而且首先采用LD技术的奥地利和日本，在产量和经济上决定性地持久性地加强了这两个国家的竞争地位。

技术范例的变革也具有强大的社会政治影响。当然很难指出那些社会政治因素直接与某项技术变革有关。然而，奥地利的钢铁工业生产数据能说明这个问题。从1952年到1986年间生产每吨钢的人年数约减少到1/6，结果在这个领域里的许多工作失掉了。这个发展大大地影响了目前相当严重的就业状况。但是，必须用维也纳经济研究所陈述的论点连系起来看。根据这个论点，原材料部门中的就业率每20年减少一半。同时，就业者的实际收入约增加300%。而且炼钢工业的人数工程学的条件发生了决定性的改善。

2. LD法在长期发展过程中具有历史意义的事件

图1表示导致LD法诞生的几个阶段。用高纯度氧气炼钢的想法是贝氏麦在19世纪中叶为了改进以后用他的名字命名的炼钢方法而提出的。他的想法是通过炉底向炉内吹入氧气代替空气。关于这一点，他还建议把氧

气从炉子顶部吹入金属熔池中（英国专利354号1856年）。但是，由于用于工业生产需要的氧气产量不足的简单原因，很长时间不能大规模地引用这项工艺。直到1902年当一家意大利公司在奥地利申请了一项专利，把氧气通过熔池液面以下10cm的侧墙吹入转炉中时，这种情况仍未改变，直到1928年，Linde—Frankel法的发展，才能大规模地生产氧气，然而，又过了20年第一家LD钢厂才投产。

1928年以后，在不同的地方，再次提起用氧气炼钢的想法。在此应该提到1936—1939年间，Lellep所做的通过底部喷嘴把氧气吹入一座1t的炼钢炉精炼铁水的试验。由于炉底寿命不能令人满意，因此试验没有成功。用空气中富氧的托马斯的工艺取得了部分的成功。甚至于还用了氧气和水蒸汽的混合气。特别是美国，在平炉和电炉上进行用了用氧和提高熔化能力的试验。

尽管认为需要用高动能把氧气深深地吹入金属熔池（施瓦茨的专利，1939年），但也有人提出把氧气向下吹到熔池液面的想法。用这个原理进行的试验失败了。杜尔和亥尔布瑞格于1948年在瑞士的格拉芬根所做的试验取得了一定的进展。用这个方法，氧气是以一定的角度吹入熔池的。但是，所有这些试验都没有达到工业的程度。

为什么这种方法在奥地利的钢厂得到突破？这个问题需要对二次大战后的特定情况进行简短的考察。奥地利阿尔卑斯采矿冶金有限公司为了保持竞争能力被迫削减他的钢的生产成本，在奥钢联不得不通过采用费用尽可能低的生产工艺以扩大炼钢生产能力。在平炉里用铁水炼钢，证明是没有竞争能力的。作为本来可以削减生产成本的入炉材料的废钢，数量上得不到充分的满足。最初设计改进的空气精炼法在汉堡和哈格丁厂进行了试验，所生产的钢，由于质量问题，在许多方面都不能应用。而且当使用低磷铁水

时,对热平衡极为不利。鉴于这种情况,必须开发一种新的方法。受到杜尔和亥尔布瑞格尝试的激励,采用了通过氧枪将氧气向下吹的想法,于1949年6月3日在林茨厂一座2t的炉子上进行了试验。

最初的试验是根据氧气深度吹入熔池的概念进行的,结果失败了。1949年6月25日工程师们的努力终于成功了:降低氧气的压力,增加氧枪头部距熔池表面的距离。用这种吹炼模式炉子底部不受损坏,氧枪的寿命得到改善。由于碳的燃烧产生的CO可确保熔池的强烈混合,同时保持铁水的高含Mn量,成渣容易控制。实践证明,金属熔池吸收氧气的能力是足够高的。在此,必需从理论上进行简单的概述。根据亥尔茨-克努森公式,在氧气顶吹转炉的情况下,每秒钟每平方米界面上碰撞的气体分子数,用近似的计算,可达约为 2430m^3 (正常状态) $\text{O}_2/\text{min} \cdot \text{m}^2$,即 $45\text{t钢}/\text{min} \cdot \text{m}^2$ 的极限精炼速度。在实际中没有采用这些可能达到的精炼速度。这意味着熔池吸收氧气的能力大大地高于日常用的氧气流量 $2.5 \sim 4.5\text{m}^3/\text{t} \cdot \text{min}$ (正常状态),然而,这种高的氧气吸收能力过去和现在一直是实现LD概念的基础。

在林茨和多纳维茨厂的5—1.5t的转炉上进行了追加试验以后,1952年11月在林茨厂投产了世界上第一个装有30t转炉的LD炼钢车间。1953年5月多纳维茨厂的LD转炉投产。第一批转炉的形状与托马斯转炉的形状非常相似。LD的名称是取自林茨和多纳维茨厂的第一个字母。

与LD法发展的同时,许多具有竞争能力的方法也得到了发展,如图2所示,高产量即生产率最终决定了LD原理的胜利成功。

3. LD法的能动发展

3.1 初始阶段

从技术观点来看,这一阶段的特征最好通过在林茨厂投产的世界上第一座LD炼钢车间的生产率来说明。这家设有3座30t转炉

的钢厂,自1956年第一次采用2座转炉生产以后,从1957年起以每年大约85万吨的产量满负荷生产。在1955年,一座转炉的平均月产量已经达到最大限度(见图3a)。当然在操作方面也取得了不断的进步,如耐火材料炉衬的使用寿命如图3b。

林茨厂的转炉炉衬的永久层用镁砖,工作衬用成型焦油镁砖,在底衬和工作衬之间是打结层。在操作的第一年初,炉衬寿命为125炉,三年后很快提高到250炉。同时小时产量从大约33t提高到大约58t。实际上可以连续操作大约7—8天而不用换炉衬,由于只是一个炉子运转,所以有足够的时间换衬。关于耐火炉衬在初始阶段没有遇到严重的问题,所以1956年改成两个炉子运转,没有发生任何问题。多纳维茨厂使用的镁砖炉衬寿命更高,1960年为500—600炉。

最严重的问题是烟尘的控制。当1949年进行首次试验时,已经认识到处理红棕色烟尘的必要性。这种红棕色的烟尘是由局部反应温度过高引起铁的蒸发而造成的。针对这些因凝聚条件造成的极端细小的烟尘的沉降的各种解决方法由许多厂家进行了试验。最后,奥地利的瓦格纳一比罗公司和奥钢联公司的工程师们共同通过努力找到了合适的解决方法。这个方法是使从LD转炉逸出的废气与附加吹入的空气燃烧,立刻回收该气体进入废气锅炉,积蓄的热量传递给废气锅炉管道系统,用于产生蒸汽,被冷却的气体最后送进湿式过滤器装置中。按照吹炼操作间断积蓄的蒸汽通过储存装备收集起来,最后连续地送入蒸汽管道。

林茨厂的第一座转炉已经用这样的装置配备了。在运行的第一年中就作了进一步的改进,例如废热锅炉的顺流废气温度从 500°C 降低到 $200 \sim 250^\circ\text{C}$ 。由此可见,可以减少过滤器的尺寸,另外的进步是辅助的加热装置把两次熔炼的时间跨接起来。这种加热系统已成为林茨厂1959年投产的第2个LD炼钢厂

设计的一部分。

3.2 LD法的进展

图4a示出了LD法的进展。日本是在奥地利之后对此项新技术反应最快的国家，因此在产钢国家中确立了他的领导地位。由于迅速地随即应用了LD炼钢法——这是成功的创造性管理的结果——奥地利钢铁工业的增长比较快，以至于奥地利在西欧钢产量中所占的比例几乎增长了一倍（见图4b）

一个根本的方向是转炉容量的增大和生产率的提高。第一座30t容量的转炉，小时产量已达55t/h，目前，容量最大的400t转炉小时产量达600—650t/h。通过将单孔氧枪改成多孔氧枪可提高LD转炉的生产能力。

尽管平炉炼钢法取得了一些进展，例如平炉用氧等，但是平炉仍然要被LD转炉所取代。这主要是因为LD转炉的投资费用比较低，而产量却相当高。但是要完全用LD转炉取代平炉，只有在以后的年代里当其证明了LD钢的质量完全相当于甚至优于平炉钢的质量时才有可能。LD转炉钢成功的道路是漫长而艰难的，用对在林茨和多纳维茨厂所做的工作的被确认的情况（图5）可以说明这个问题。

3.3 派生工艺的完善和发展

如上所述，一种新方法在其能动的的发展阶段，除了要求大大地提高经济效益外，竞争因素的影响变得更大了，这样最终导致改型过程的完善和发展，图6示出了与LD法有关的几个重要方面

3.3.1 关于完善工艺的几项工作

——由于受氧气底吹转炉炼钢方法发展的激励，尤其是OBM法，LD法采用了底部搅拌，以改进炼钢过程的动力学。获得了许多主要的冶金和操作方面的利益。

——将来，炼钢将被看成是一个整体的、符合逻辑的、借助于计算机的过程。基于副枪法的过程自动化是向这个方向迈出的重要的一步。

——由于废钢的价格比铁水低，因此继续努力提高废钢比（废钢预热用双流道氧枪提高CO的二次燃烧率，加入煤炭等）。

——氧化铁高的炉渣在出钢时进入钢包，这与采用还原精炼的炼钢法相比，长期以来一直是转炉炼钢法的缺点，但是，通过使用挡渣器，这个问题被征服了。最近的进展是旨在联合使用自动探测炉渣系统和挡渣器。

3.3.2 工艺的改进

林茨和多纳维茨厂进行的试验，导致了用LD法冶炼低磷铁水技术的突破。而高磷铁水的处理在一段时间内只限于用托马斯炼钢法。不久，在法国、卢森堡、比利时开发了利用高磷铁水的炼钢技术，从而扩大了LD法的应用范围。在这方面应该提到以下几种方法，例如由法国钢铁研究院（IRSID）开发的OLP（氧气—石灰粉）法，阿尔贝德（ARBED—CRM）开发的LD—AC法，石灰粉是通过吹氧喷枪以两段操作法喷入的及LD—Pompey法。上述这些方法及许多类似的变更的LD法取代了托马斯法。50年代发展的甚至在60年代就被改进了。60年代末OBM法成为重要的、有竞争力的方法。

——从理论上单独使用LD法生产高合金钢是可能的，虽然用今天的观点来看这样做耗时长且不经济。因此，出现了联合工艺。在70年代日本采用的LD—RHOB法就是这种联合工艺的一个例子。这种方法是将两段操作的LD法与真空氧气精炼法联合起来。近年来，由于采用了逆流铁水脱磷，用LD一段操作法就可生产高合金钢。如果采取适当的方法降低CO分压，可以直接在转炉中进行Cr回收率高的氧化精炼。一种派生的方法是利用真空的VODK法。另一种是通过氧和（或）底部喷咀吹入Ar/O₂混合气，由氧枪吹入的称KCB—S法，从底部喷咀吹入的称K—BOP法。

——70年代后期，日本开始尝试尽可能减少在转炉中的冶金操作，转炉主要脱用于

脱碳。这就要求铁水除了进行脱硫外，还要进行脱Si和脱P。这就是众所周知的少渣吹炼法。努力这样做的原因；一方面是环境问题（例如渣子堆积），另一方面是为了满足高质量的要求（例如调整超低磷含量）。

3.4 氧气顶吹转炉钢厂投资费用的变化

一种方法的能动发展的主要方面是增加与产量有关的设备能力。如图7所示在60年代，甚至当考虑到基本物料价格指数上升时，由于出钢吨位的增加，导致投资费用明显的降低。在70年代因出钢吨位保持稳定，而基本物料的价格指数迅速上升，1975年与市场价格有关的投资费用又上升到1960年时相同的水平，但比1965年高34%。

4. 外供热氧气炼钢法

因为自供热法在应用中限制了废钢比，因此要求自加燃料的外供热法得到了发展。自供热法的许多基本要素均被外供热法采用，例如，从喷咀吹入煤粉的外供热转炉可以认为是氧气复合吹炼法的一种“分支”。EOF法（能量最佳化炉子）含有 Tandern 炉（通过煤气二次燃烧预热废钢）的某些基本概念，同时又具有侧吹氧气炼钢法的某些特点。取决于废钢比所要求添加的热量，可通过将煤粉喷入熔池而获得，或者通过位于熔池上面的烧咀提供。

图8表示可以用高废钢比（在极个别的情况下可达100%）操作的外供热炼钢法。

代替平炉和电弧炉的新的外供热法发明以前，自供热炼钢持续了很长的时间。有些发展是旨在提高氧气顶吹转炉的废钢比的。用天然气、油或煤预热废钢，废钢比可提高到10%左右。这种情况不同于图8中给的例子。而且在过程中出现了附加燃料。最简单的方法是通过添加系统向炉内加入煤、焦炭或无烟煤（15~20kg/t钢）。在与双流道氧枪联合使用的情况下，废钢比可增加6%。另外一个方法是通过喷枪吹入燃料。在这个问题上应该指出，在60年代林茨厂已经用所谓

的热精炼喷咀进行过许多试验，但是，这个方法没有成功。按图8给出的系统的例子（TAPS=Triple Action Process STB），煤粉可以通过喷枪喷入炉内。这种喷枪也起了增加二次燃烧率的双流道氧枪的作用。同样地，ALCI（Arbed Lance Coal Injection）法也是通过这种喷枪将细颗粒的煤粉喷入炉内的。用这些方法，每吨钢喷入2.5公斤煤，废钢比可提高15%左右。

从氧气复合吹炼法还发展了甚至更高废钢比进行操作的方法。KMS（Klöckner—Maxhütte—Stahlerzeugungsverfahren）法可以看作是用50%废钢操作的第一个取得工业程度的方法。1983年和1984年格欧格马林厂用KS（Klöckner—Stahlerzeugungsverfahren）法已经把废钢比提高到了100%。

示于图8中的另一个例子称为土拉法（苏联）。但是，此法还未达到工业成熟的程度。不久前曾有报导说，民主德国马克斯温特威伦博尔的氧气炼钢厂进行了用40—50%废钢比操作的试验。其目标是用100%的废钢进行生产。

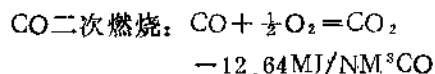
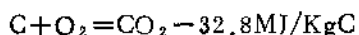
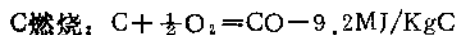
在这方面其它的发展也值得注意，例如克虏伯的煤氧喷射法和英国钢铁公司的碳法。

最后，图8还示出了上面已经谈到的EOF法。1986年在巴西的Pains厂用60%铁水，30%固体生铁10%的废钢进行了生产。该厂计划增加固体料的加大量，直到废钢比为100%。期待吨钢耗能80公斤煤。

KVA（Klöckner—VOEST—ALPINE）法将于1987年底在多纳维茨厂进行实际生产考验。这种方法可以看成是一种改进的外供热转炉，该法以70年代由克勤贾克纳积累的经验为基础，其目标是废钢比达100%。

在本文中已反复谈到与提高废钢比有关的CO的二次燃烧。CO二次燃烧在Rotor炉、Tandem炉、以及现代化自供热转炉操作中得到了应用。终于CO二次燃烧亦为外供热

法的一个重要方面了。在此,对几点原理进行说明。下列反应式表明,碳燃烧成 CO_2 比燃烧成 CO 产生的热量大得多。



(以上3个反应式等号右边的“-”号均应改为“+”号——译者)

因此,在这一点上重要的是最大限度地实现 CO 的二次燃烧,并将在转炉内产生的热量传向熔池。舒尔曼等人谈到冶金的程度和影响 CO_2 含量的操作因素。相应地图9展示了鲍尔-格拉斯纳的平衡图的一部分。该图示出与熔池相平衡时,只有大约15—20%的 CO 可以转变成 CO_2 。实际上380t氧气顶吹转炉在炉口汽封废气中的 CO_2 含量在吹炼时接近平衡。改变氧枪的距离和废钢的种类,对煤气中的 CO_2 含量几乎没有影响。然而,在某些情况下,依靠转炉的形状和向炉内引入的氧气的方法高达35%的高 CO_2 含量仍可达到。

5. 氧气冶金的前景

进行预测比回顾发展过程困难得多。当试图进行可信的预测时,可以根据目前的想法,竞争因素和经济发展的形势等可能产生的影响来评价。

首先应该提出的问题是目前产量最高、而且非常灵活的转炉炼钢是否能被其它技术所取代?对此,过去曾经有过许许多多的想法,而且也进行了不少旨在促进“连续炼钢”的试验。这些方法大多是以铁水为主要原料,而且用氧气进行精炼。图10示出了一些可归属于氧气冶金的这类方法连续钢的优点如下:

- 较低的投资费用
- 较低的操作费用
- 实现自动化的有利前提
- 炉子尺寸不受限制

——改进了热效率

——渣量较少

——收得率比较高

尽管有这么多的潜在的好处,并且“连续”这个词对于炼钢工作有着强烈的吸引力。但是,连续炼钢至今还没有赢得重要的地位。其原因是一方面还有许多技术难题没有解决,而且另一方面基本思路近乎可疑。关于许多钢种其发展指向于提高纯净度和严格化学成分范围。通过使用已知的二次冶金措施满足这些要求。在这方面应该提到添加脱氧剂和合金化元素与规定的钢水及其量有关。在后起的间断处理的二次精炼的情况下,似乎连续炼钢没有多少吸引力。另外,经常生产几百个钢种,而且反复改变生产的钢种,这用间断的生产方法很好实现,而基于连续则很难控制,因为至少在改变生产计划时,钢的成分不能令人满意。因此,不久的将来,间断操作的转炉仍将是炼钢的主要方法。哪些是将来可能影响钢铁生产的竞争和经济形势的因素呢?首先,缺少原料和能源的国家,仍将采用高炉——碱性氧气转炉工艺流程。这些国家不得不常常把矿石和冶金煤从万里之遥的地方运回来。对原料和能源储量丰富的发展中国家,原则上应在本国实现高能耗铁矿石金属化处理,以提高其附加价值。然后只在工业发达国家中进行进一步的加工。在这方面,首先应提到众所周知的直接还原法。在直接还原法中铁矿石被还原成海绵铁。但固体生铁也是有意义的。最近,来自巴西的消息报导,为了出口,生铁产量正不断提高。

关于炼钢需要的原料,还应考虑到与钢的纯净度有关的竞争因素。在日本采用脱硅、脱磷、和脱硫铁水,用高铁水比和低废钢比进行精炼。这种炼钢工艺肯定会对世界钢铁工业产生影响。磷和痕量元素的含量可用上述方法实现,而用高度钢比的转炉工艺是无法对付的。根本的问题是要问一下:是否真

正需要超高纯度钢？尽管如此，这一竞争因素是实际的。另一方面是超深冷轧薄板连续退火线的采用，在这方面讨论的交点是，在连续退火炉中处理的钢的纯净度可能比在传统的间断式退火中处理的钢的纯净度更高，这一点还需要验证。竞争因素仍然存在。虽然问题悬而未决，但是，明确地观察到很多钢种趋向较高的纯净度。

将来，以铁水为主要原料生产高纯净度钢的自供热氧气转炉炼钢，仍然是最有效的办法。然而连续比的提高，高质量的本厂返回废钢的数量大幅度减少。又由于外购废钢虽较便宜，但其中的痕量元素无法解决。针对这些问题正在采取有效的解决办法。由于欧洲和美国的现有条件，没有将日本采用的铁水预处理（脱硅、脱磷）法作为通常采用的方法，但是，可以设想在特定条件下可以采用此操作。无论如何，近年来欧洲已趋向于降低铁水硅含量和随之而来的降低废钢比的趋势。从理论上讲，海绵铁可能代替废钢。为了说明这种情况，图11示出了海绵铁的可比价格。很明显，废钢价格和铁水费用对海绵铁的可比价格有影响。在大多数地区，海绵铁的价格可能高于计算的价格和可比价格。然而，应该指出，计算价格只是以物料平衡和热平衡为基础的，没有考虑钢质量的提高，钢质量的提高应当予以充分估价。在西欧目前的条件下，海绵铁的生产为2800澳元/t，这个费用太高。在原料便宜的国家，情况就不同了。在这些国家费用是非常低的。然而工业发达国家进口海绵铁还需要加上运费。至今，只在某些国家，如墨西哥、委内瑞拉等国才重视海绵铁的生产，1985年世界海绵铁产量大约为1100万吨，而生产能力都是其产量的一倍。

当装入大量固体生铁时，外供热氧气转炉是生产低痕量元素钢的另一种替代的方法。图12比较了自供热和外供热法。自供热法使用的铁水比和外供热法使用的固体生铁比相同，并且，两种方法的废钢比也相同。与铁水的费用相比，固体生铁的可比价格明显的低。应该考虑到外供热转炉消耗的煤和氧气，以及生产率降低等因素。尽管如此，为了对市场进行分析，用图表示了发展中国家固体生铁的出厂价格。

当然，依靠进口的焦煤和矿石，用传统的高炉生产固体生铁是不合适的，但是，不只在矿区利用廉价煤（炭）直接生产固体生铁的做法受到了注意，而且利用非焦煤的熔融还原法也受到了注意。如图13所示。COREX法的费用优于依赖多方面条件的高炉法。如果废气能加以经济地利用，费用将进一步降低。COREX气的含硫量低于 $20 \times 10^{-4}\%$ ，所以不必进行脱硫，这对于环保是非常重要的。进入的硫约99%被渣子吸收。

最后，可以这样说，对于那些极有限的生产，高纯净度钢的大钢铁企业，似乎至少在近期内高炉——氧气转炉工艺流程不会有问题。从技术的观点看，通过提高铁水比或用海绵铁代替废钢，可以减少痕量元素。如果产品范围包括一定比例的较高废钢比的钢种的，则外供热转炉的使用，可增进购卖废钢的灵活性。选择固体入炉料，如废钢、海绵铁、固体生铁等操作的较小规模的设备，或者选择与熔融还原设备联合操作是多方面的。各种能源，如电能、煤、天然气等的价格和可利用性，及外供热工艺技术的进展将进一步影响这方面的发展。

阎峰译 李吉夫校

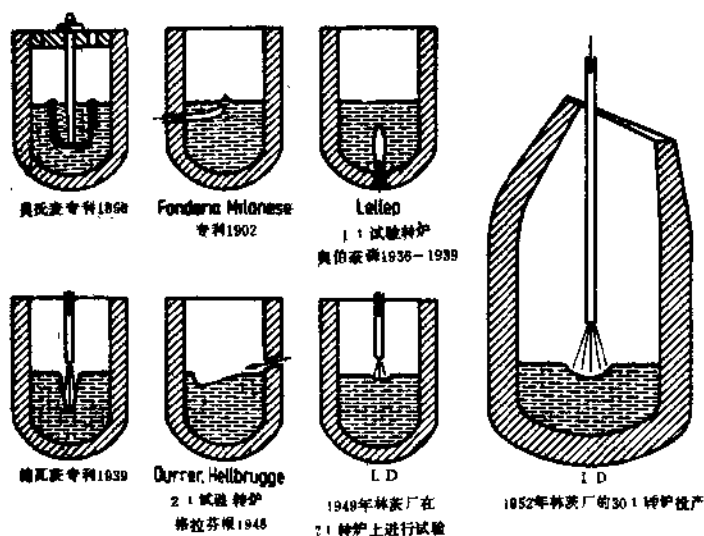


图1. LD法的发展过程

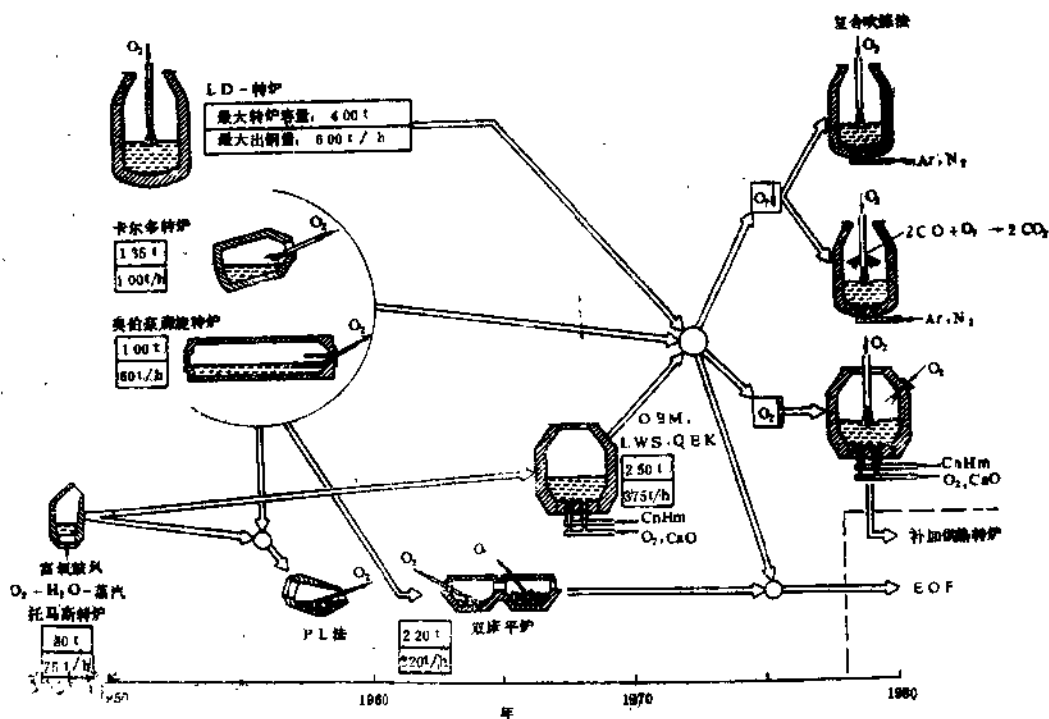


图2. 自供热氧气炼钢

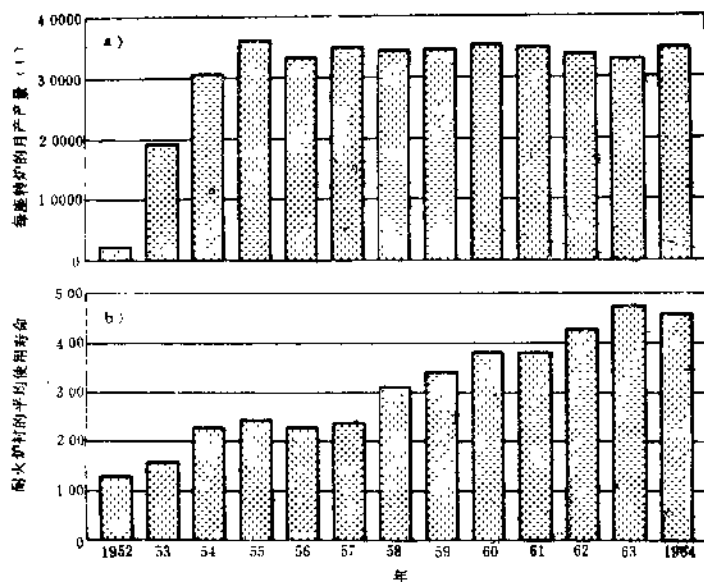


图3. 在林茨的3×30t转炉世界第一个LD钢厂初始阶段的情况

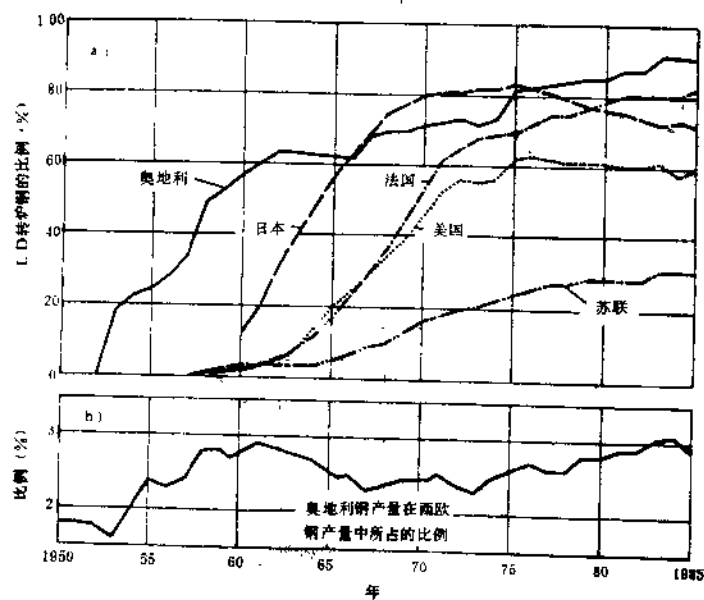


图4. a) 不同国家LD法的进展
b) 奥地利钢产量在西欧钢产量中所占的比例

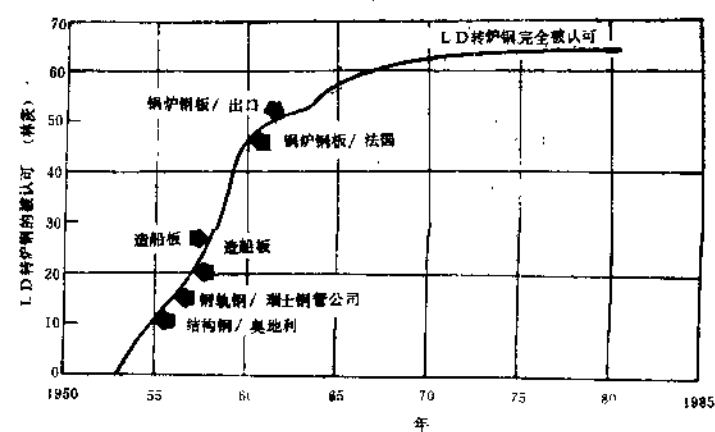


图5. 林茨和罗纳维茨厂转炉钢被认可的过程

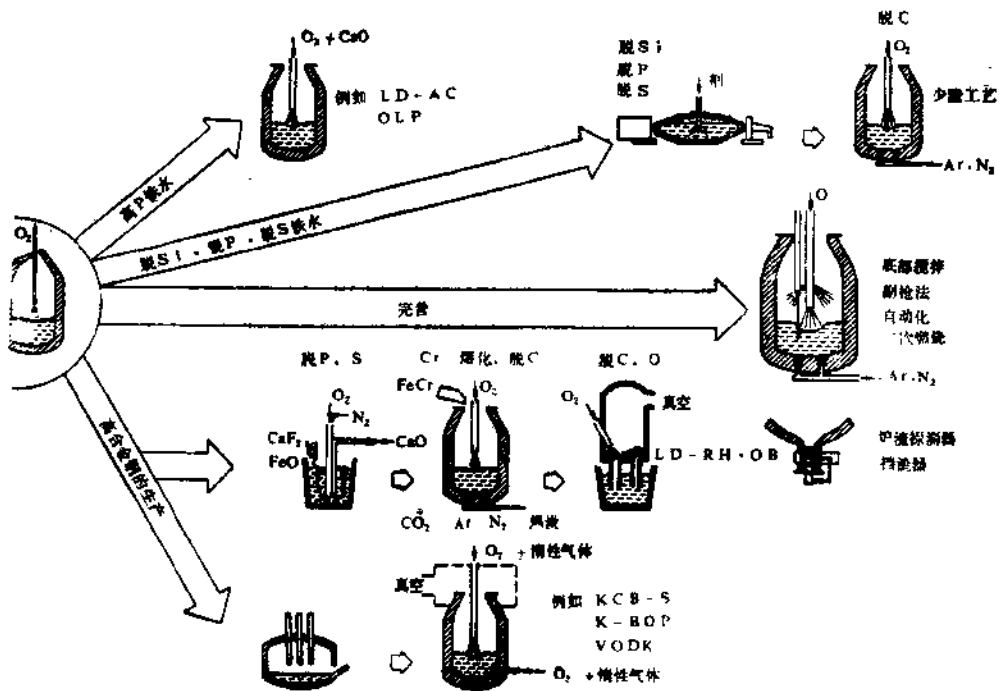


图6. LD法的完善能派生工艺

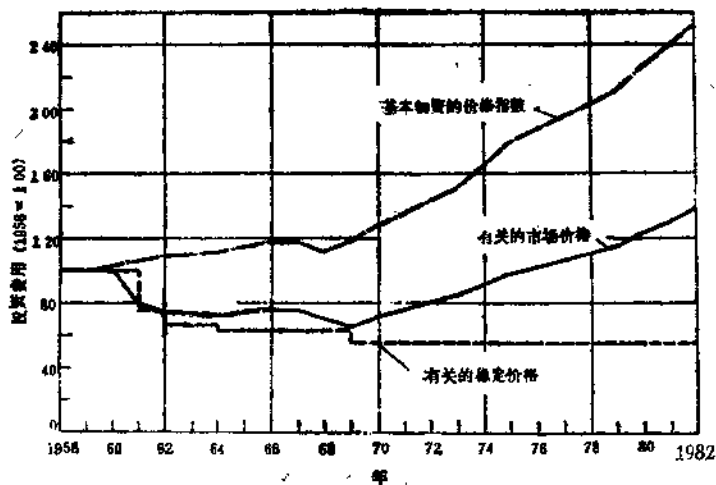


图7. 个别最大规模的氧气顶吹的转炉钢厂投资费用的变化

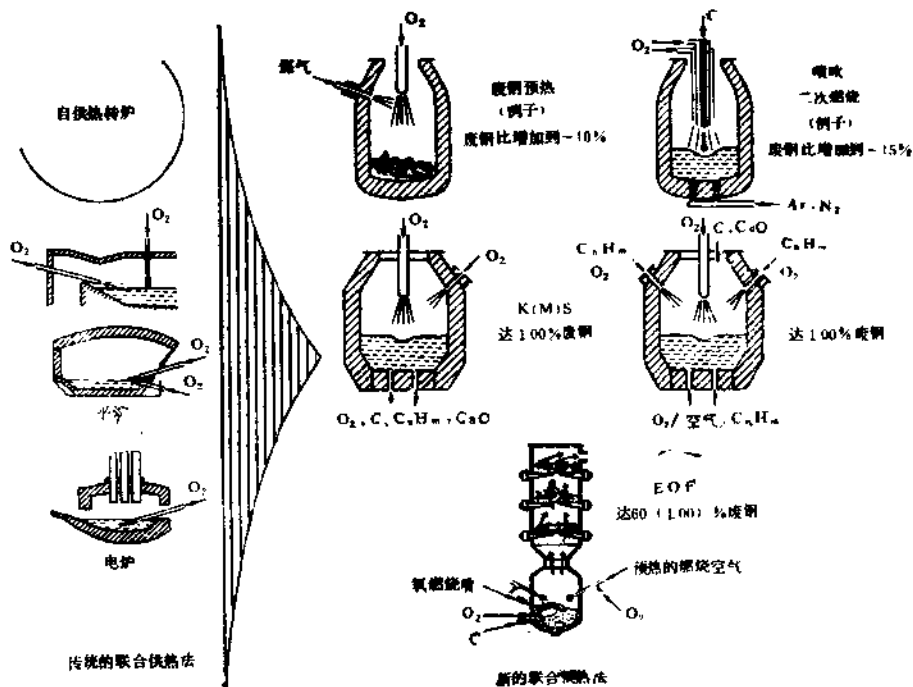


图8. 外供热氧气炼钢

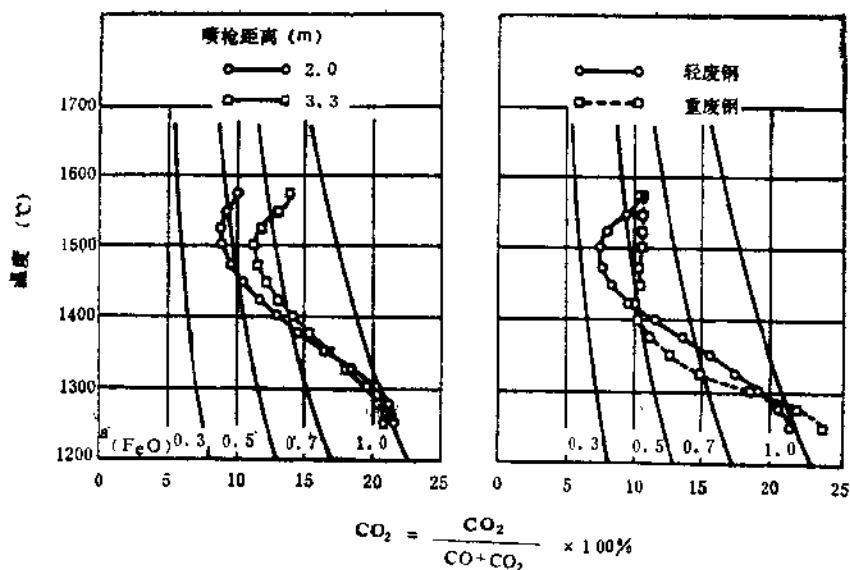


图9. 平衡图 (鲍尔-格拉斯纳) 和280t氧气顶吹转炉不同操作参数熔池温度与转炉废气中CO₂含量的关系 (根据舒尔曼等人的观点)

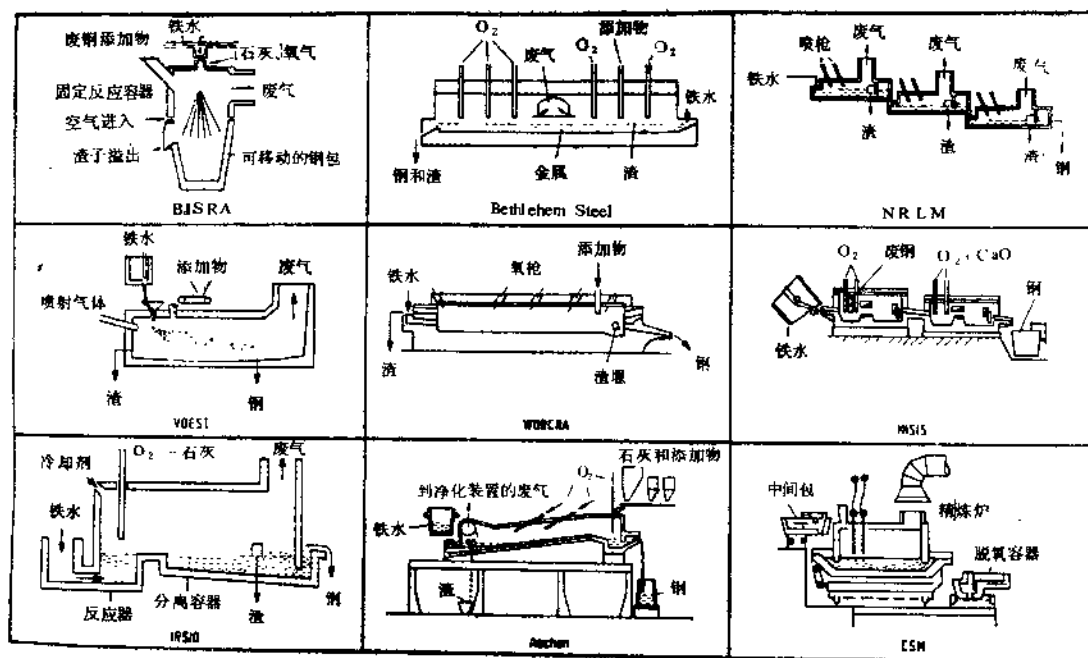


图10. 各种连续炼钢法

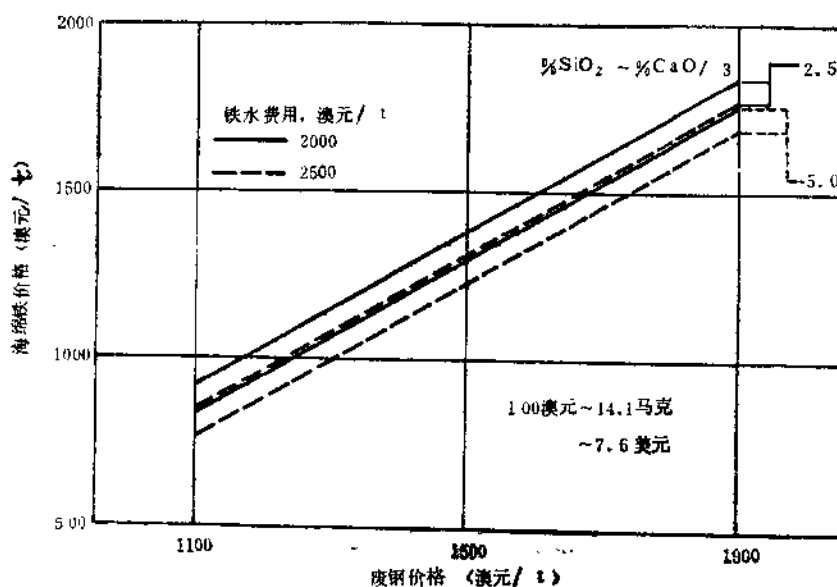


图11. 在自供热转炉中用海绵铁代替废钢时的可比价格 (废钢比22%, 海绵铁的含铁量89%, 海绵铁的冷却系数: 1.2)

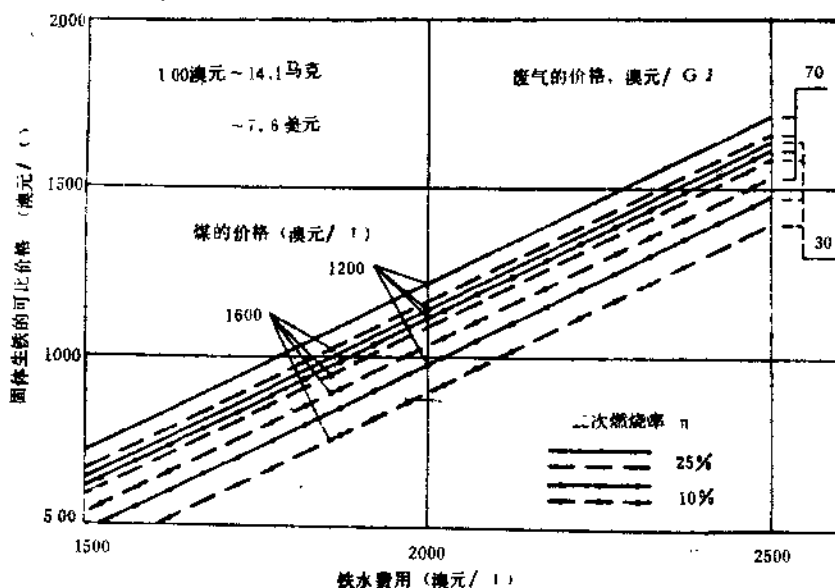


图12. 固体生铁的可比价格—自供热转炉 (80%铁水, 20%废钢)
与外供热转炉 (80%固体生铁20%废钢) 的比较
(在外供热转炉中消耗的含碳88.5%的焦炭量:)
 $\eta=10\%$ 时为180kg/t, $\eta=25\%$ 时为120kg/t

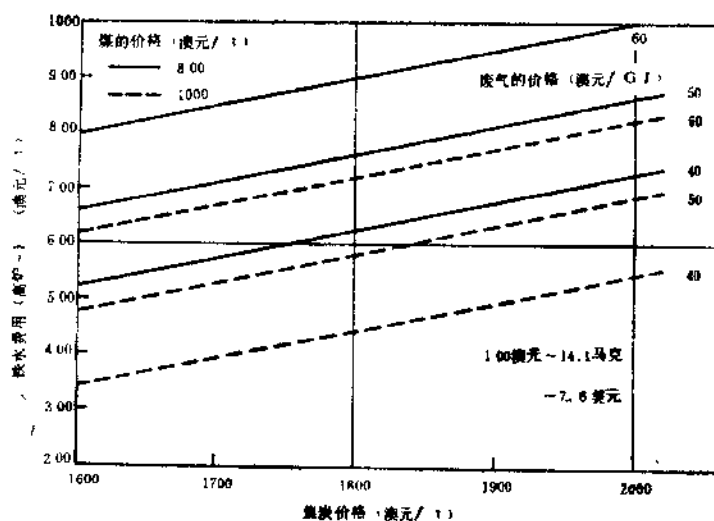


图13. 用高炉 (40万t/年和用COREX设备30万吨/年) 生产的铁水生产费用的差别

北美氧气炼钢概况

John R. Stubbles

幸超译 匡芳校

摘要

本文将讨论北美有关主要设备改建的氧气顶吹转炉的生产能力,并对影响铁水利用率的因素和影响铁水比的操作进行探讨。吹炼技术和控制工艺是与二次精炼技术和新产品密切相关的。本文将讨论连铸对BOF的影响、同时介绍北美钢铁生产的新工艺状况,并予測90年代综合式轧机的粗钢生产能力。

绪言

我很荣幸地来到你们这个可爱的城市——Linz,因为她与我的两个爱好相联系:即古典音乐和炼钢的历史。从我的少年时代以来我就是Bruckner“迷”。在Henrg Bessemer被委任为Linz大教堂的风琴手那年,他的第一个空气炼钢专利获得批准,其题目是:

“铸钢生产的改进”,批准日期是1855年10月17日CU,K.No2321。看起来非常荒唐是三年后,Bessemer的父亲几乎令人发笑地提出用纯氧代替空气吹炼,并获得了美国专利,其专利号为No2207。

我荣幸地代表北美炼钢工业和AIME钢铁协会从专业上来介绍氧气炼钢的现状。为了提高现有BOF车间的生产能力和效率,在八十年代,加拿大已实实在在地装备新的技术。在十年初,STELCO使Lake Erie Works完全投入生产,自二次世界大战以后,仅有两个综合厂(greenfield integrated plants),其中一个就建立在北美。在1985年,他们也

使这个具有历史意义的平炉车间(100/小时)停产。然而,1987年是加拿大在主要设备取得完善的一年。

美国的联合公司仍在改建中。1986年,氧气顶吹转炉的生产量下降到4300万吨(正常条件下的生产能力为6500万吨),还有少数几个厂长期停产。表中最近公布的停产厂(图1)包括一些过去的厂名。如果认识到过去二十五年已有10000万吨的平炉设备为BOF所取代,而最近的十年,设备的闲置量超过了25%这较戏剧性地说明这种混乱的情况。这并没有使工业停滞不前,也未造成对新技术的不敏感。但是,资金短缺这一实际情况不得不对新的设备采取非常实际的态度。就对时机的选择来说,一般都采用最理想的新的技术设备,尽管连续五年无效,然而最近两年特别加快了投资的步伐。

生产能力

在美国,目前正在运转的氧气炼钢厂有26个,1985年三家公司(USX, Bethlehem和LTV)的产量占当时全美BOF粗钢产量4700万吨的55%,而National, Inland和Armco占25%。在加拿大,BOF钢实际上都来自三个重点厂(STELCO, DOWASCO和Algoma)的六个车间,1985年总产量为1050万吨;详细情况如图2所示,这里指的是产量吨数而不是生产能力。1986年由于受USX下半年罢工的冲击,个别车间的年度数据记录不正常,故选择1985年的数据,而未选择1986年的数

据。众所周知,USX 的氧气炼钢能力大于北美其他的公司,但现在已远不如它们了。

然而,一年的短暂时间没有给人们提供对生产趋势的感性知识。加拿大部分近年来相当稳定,但正如图3所示,在美国,工艺趋势曲线并不令人鼓舞。应该注意,当粗钢生产率不断增加时,甚至EAF产量实际上也在下降。主要钢公司至少生产这个吨数的25%,其中一些是低碳压延钢,平炉产量虽然已停滞但还未消失。然而1987年很可能结束从1875年以来北美炼钢史的光辉一章,突然缩回到1975年,那时Carnegie在EdgarThompson Works为世界第一座综合式轧机安装上平炉。

美国的氧气炼钢车间的生产能力通常为6500万吨。现在已在下降,其主要原因有二:第一,由于世界钢铁供过于求以及钢铁市场对其他材料不可避免的冲击,生产从未接近生产能力,直到更多的车间退役为止。第二,现有的和过时的(upstream and downstream)设备可能支配将来任何熔炼车间的经济活力和实际能力。因此,为了对这种未来制定计划,必须研究这些设备的状况。

铁水的利用率和质量

尽管在欧洲正在使用的各种高废钢比的BOF工艺,满足美国高速板坯铸机生产能力的关键是铁水的利用率。在加拿大,最近十年,STELCO和Algoma都建成了新的大型高炉。按照北美的标准,这些高炉的容量都超过了2000M³。DOEASCO在技术上提高了此炉子的质量,为了它们1987的现代化计划,并选择一种能扩大其铁水供应的气体炼钢工艺(K-OBM),并为将来的KMS工艺做好了准备。

在美国,还在运行的高炉已不常见了。图4表明,近年来可运转的高炉急剧减少,1985年大约有40座高炉在运转,生产不到4500万吨的铁水,而1973年却生产了8900万

吨铁水,自二次世界大战以来只建立了6座大型高炉(Bethlehem C,D和L, Gary13, InLand7, LTV,H-4),但是对许多中型高炉结合新技术和增加容量进行了全面的改造。然而,在以前的操作水平上,依靠单炉生产,在许多场合下,没有相同容量的备用炉子。更换炉衬的成本也变得过高,而且,在换衬期间从相邻的兄弟厂中可得到的铁水也不能保证。就铁水供应而言,除几年以外,一直不稳定,1985年BOF钢的生产量刚超过1300万吨。

按照全国的水平,焦炭的供应问题已不太严重,因为从炼焦生产量说是大约3000万吨,而消耗量是在2500万吨以下。剩下的炉子效率都高,甚至进一步提高生产率,使用富氧大风量和喷吹操作,或许在极端情况下加入金属化矿或一定尺寸的废钢可能降低焦比。一种正在发展的趋势是向着使用粉熔剂来降低铁水含硅量,于是通过降低焦比来提高生产率。

这使人们讨论影响北美氧气冶炼厂的铁水质量问题,其趋势(图5)倾向于铁水含0.5/0.6的硅,尤其是用精密仪表装备的新炉子。通过对原材料的严格控制,并对炉子进行监测,避免炉况不稳定,才真正有可能最大限度地提高炉子的生产效率。然而,北美的大多数的炉子仍然生产出平均含硅量在1.0%的铁水,其波动范围仅为上下3个硅。

即使在硅含量为0.5%时,予处理脱磷的想法仍然不能引起人们的注意,尤其是应把铁水中的磷含量控制在0.1%以下(图5)。如果钢厂不采用循环渣时,还将能进一步降低渣量(直接采用球团或烧结球团)。在北美没有公司对铁水进行脱磷或在这段时间内打算这样做。然而大多数公司实际上正在脱硫(即喷吹以后扒去富硫渣),但是熔剂和设施配置有很大的变化。加拿大喜欢使用碳化钙系列(成本低与邻进的廉价的水力发电能源有关)。美国喜欢用钙基熔剂(CaO、CaC₂)

和镁(粉和盐盖粒)的预混合剂。铁水罐车作为反应容器比鱼雷车更加普遍。现在几乎所有的铁水含硫量均可以控制。用2.5~5.0kg/吨钢的熔剂喷射几分钟,能将典型的 $0.06 \pm 0.01\%$ S降到BOF所需的约0.01%的水平。如果能达到出铁时硫含量的要求,就能使硫含量达到低于0.01%的水平,但比较普遍的是,硫含量在0.015%以下。

BOF操作

影响铁水百分比的因素

由于铁水能含量较低(由于脱硫、硅量降低和温度较低)以及新的过热需要量已增加铁水的百分比。现在北美的典型值是74%,其波动范围为68~80%。这与传统的平均数71~72%有着惊人的一致性,这是由于一些操作实践所致。

第一,清洁钢的要求迫使提高铁水包的耐火材料质量。这又促使钢包的预热效率提高和采用保温方法,即使用铁水包盖、快速检修铁水包。结果,出铁温度象二次出铁所希望的一样没有增加。

第二,在炉子里面,铁水能量的输入有三种实际操作。如果时间允许(5到10分钟),用油或天然气燃烧顶部烧嘴进行废钢预热,可使铁水的百分比含量降低3~4,DOFASCO通过改造4号转炉的OBM喷嘴从底部预热废钢。某些车间从顶部加入含碳原料(塑料、煤、焦、墨西哥石墨)。然而,要获得这些附加的化学热能并不是都能实现的,因为它会使停吹时的炉子控制变得困难。最后,有几个车间采用双流道或分流道顶枪吹入氧气进行二次燃烧。即使使用普通氧枪,一定也有一些二次燃烧,新枪所增加的热量比我们想象的要少,而且不容易测出。所以对炉子的设计要全面考虑。LTV的Q—BOP炉比纯氧顶吹转炉铁水兑入量减少到5.5%,但是这个炉子还是不稳定的。在Gary的USX第1车间由于采用二次燃烧,铁水兑入量

减少大约2%,而且是比较普遍的。

熔剂的消耗稍有降低,但按国际标准仍然高。如果车间使用75%的铁水(含硅1%),最终的目的是使渣的碱度在3.5,渣中的MgO在8%以保护炉衬,于是所用的熔剂总量达75kgms/吨钢是不可避免的。这的确接近所报道的平均值,55~100的范围一般反映该车间使用的铁水中的比铁水硅。石灰/白云石比通常是在2/1和3/1之间变化。对于二次燃烧和底部搅拌来说,大概由于石灰的快速溶解,据报道熔剂的需求量将减少大约12kgms/吨钢,因此其效率更高。

对铁水有影响的因素是来自电弧加热的钢包炉,安装这种炉子的最初目的是在包括连铸机在内所遇到的复杂情况下用它来起缓冲作用和用它来对化学成分及温度进行微调。降低出钢温度的潜力是存在的,但是一部分的潜力被新的真空方法所需的过热抵消。

近年来,北美各公司对铁水比的看法是不一样的,表面上看,由于高铁水/废钢的费用比,看来用铁水是唯一合理的选择。但是对于那些用现款和长期收付矿石及煤炭合同的公司,情况可能就不一样了。有些工厂(Mclouth, LTV, Wheeling, Pittsburgh)面临破产只得重新考虑原料结构以求进一步降低铁水成本。一些公司(DOFASCO, Armco)由于铁水有限而节省铁水;其他公司在目前操作水平上铁水还是够用的。

底吹实践

K—OBM—由于芝加哥南部的LTV的Q—BOP没有运转,故在美国,仅有Gary和Fairfield的USX车间采用了底吹转炉。这两处的车间给铸钢机和带电弧加热的钢包炉提供钢水(ASEA)。它们通过顶吹氧枪吹入总氧量的25%,在使用二次燃烧时, Gary在70%铁水下操作,这是北美铁水比最低的车间之一。已有报道,出钢的碳含量在0.01%,这是在脱气($\leq 0.005\%$)和底部搅拌($\leq 0.002\%$)