

一九八二年 全国转炉炼钢会议文选

中国金属学会炼钢学术委员会
冶金部钢铁司 编

冶金工业出版社

一九八二年

全国转炉炼钢会议文选

中国金属学会炼钢学术委员会 编
冶金部钢铁司

冶金工业出版社出版

(北京红厂口74号)

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

787×1092 1/16 印张 19.3/4 字数467千字

1984年9月第一版 1984年9月第一次印刷

印数00,001~1,450册

统一书号: 18062·4023 定价2.65元

目 录

转炉工艺、品种质量及其它

1. 关于“顶吹转炉技术操作基本规范”中的若干问题	1
2. 我国氧气转炉钢的品种质量概况及其改进途径	9
3. 我国转炉炉龄和炉衬材料技术发展现状与展望	24
4. 转炉炼钢的节能方向和途径	34
5. 如何提高我国现有转炉炼钢厂的生产技术水平	38
6. 我国炼钢测试技术的进步	45
7. 论顶吹转炉操作工艺的确定	53
8. 混烧石灰及其造渣工艺	59
9. 白云石造渣中几个问题的研究	64
10. 氧气转炉炼钢造渣制度的剖析	73
11. 转炉渣中氟行为的初步探讨	80
12. 含硼矿物对转炉初渣熔点及粘度的影响	85
13. 转炉炼钢工艺计算尺	90
14. 转炉炼钢脱磷工艺的反应工程学探讨	95
15. 转炉炉内喷粉脱磷工艺试验	105
16. 碱性化铁炉节能降耗的探索	113
17. 马钢第三炼钢厂50吨顶吹转炉红包出钢	127
18. 氧气顶吹转炉冶炼低碳钢种的高拉补吹操作法	135
19. 鞍钢150吨氧气顶吹转炉品种的扩大和钢质量	143
20. 低碳铝镇静钢酸溶铝的控制	149
21. 提高转炉炼钢操作技术和产品质量的一个关键 ——发展检测 and 自动控制技术	156
22. “天津型”外装转炉副枪装置测试技术	162
23. 氧气转炉炉型参数的确定及其数模	182
24. 三孔喷头结构对射流性态及冶炼工艺的影响	194
25. 潜入侧吹氧气流股在炼钢熔池中的穿透长度的研究	203
26. 油水乳化液作氧气侧吹转炉氧枪冷却剂的试验研究	210
27. 杭钢小转炉炼钢技术概况	217
28. 本钢第二炼钢厂设备工艺改进情况	222

技术改造、炉底复合吹炼及综合利用

29. 复合吹炼中氮的动态	227
30. 对我国氧气顶吹转炉技术改造方向的几点看法	232
31. 扩大我国现有转炉容量的可行途径	238
32. 氧气转炉炉底复合吹炼技术的发展	246

33. 顶底复合冶炼熔池搅拌的水力学研究	252
34. 复合吹炼冷态模拟研究	265
35. 顶底复合吹炼法的水力模型实验研究	274
36. 钢渣处理及利用	281
37. 国内氧气顶吹转炉煤气回收现状	288
38. 上钢三厂25吨氧气顶吹转炉烟气净化和煤气回收利用	294

1. 关于“顶吹转炉技术操作基本规范” 中的若干问题

冶金部钢铁司 余景生

我国自1964年第一座氧气顶吹转炉在首都钢铁公司投产以后，就没有再建平炉或侧吹转炉，而新建了许多顶吹转炉。1981年顶吹转炉产钢约1522万吨，占全国钢产量的42.8%。这说明：

- 1) 转炉是为适应我国炼钢生产需要而发展起来的；
- 2) 从酸性到碱性，从空气到氧气是我国转炉的发展史；
- 3) 顶吹转炉及其派生将在我国继续大量发展。

我国转炉技术进步是快的，但和国外相比，在质量、品种和消耗三个方面，还有较大的差距。在质量上，主要表现为成分不稳定面波动范围大（特别是碳）和钢质不纯；在品种上，没有生产平炉所能生产的所有钢种；在消耗上，较国外为高，诸如钢铁料、石灰、炉衬材料及能源消耗。

近十余年来，国外顶吹转炉炼钢发展很快，精益求精，为提高质量、扩大品种及降低成本采用了许多新技术。如铁水脱碳、铁水扒渣、底部吹气、付枪及电子计算机控制、挡渣球出钢、钢水定氧和结晶定碳、包内成分微调、白云石造渣及综合炉衬、炉气回收、炉渣利用等十余项。这些都是过去所没有的，现已较普遍应用。此外，国外有一套较完整的统计分析和管理制度。

我国转炉生产落后除管理及设备条件外，还由于操作水平较低，没有较严格的统一的技术操作基本规范。我们的顶吹转炉除首钢外，都是1966年以后建立的。它既没有一定的操作传统和基础，又逢十年动乱，没能建立严格的操作规程。近年来，各厂规程虽作了修订，有较大的进步，但一般还失之于松散或执行不严格。有的厂还存在着一些偏向和不良操作习惯，如石灰质量太差，吹炼终点加铁矿，炉渣碱度宁高毋低，出钢温度宁高毋低等。

由于以上情况，我们目前提高炼钢操作水平，应以顶吹转炉为重点。从技术上说，需要制订一个从原料到出钢的较严格的统一的技术操作基本规范，对一些关键问题进行把关，共同遵守，以普遍提高转炉的操作技术水平。

这个规范的主要目的是提高产品质量，扩大品种，降低消耗。这是当前转炉生产重点，也是发展转炉生产的原则，希望通过这个规范及其它方面的改进，在三几年内使转炉生产接近和达到国际水平，使有些产品在国际上有竞争能力。我们有些产品质量由于因循守旧，多年未有提高，和国外产品相比，差距很大，如深冲薄板钢和硅钢。国外近年来，特别是近十年来，钢的质量在竞争中提高很多，我们更感落后。产品质量赶上国际水平（内控质量标准）是我们的努力方向。产品不只要性能好，而且要性能稳定，经久耐用。当然，还要求产品成本低、价廉。

这个规范的一个指导思想是在目前条件下从严要求。转炉炼钢由于历史原因及物质条件，存在着“凑合”思想，主要表现在原料、仪表及钢水成分和温度方面。我们要求精料、吹炼平稳和准确出钢。

这个规范的依据是国内先进经验及国外的经验，并结合目前的条件。规范中有的可立即实行，有的要求一两年内实行，但一般花钱不多。

我们对20吨以上的炉子（包括20吨的，下同），要求严格一些，小的炉子因考虑成本等问题，在保证产品质量不低于标准的条件下要求松些。侧吹转炉的操作可参考这个规范。

现在就我们顶吹转炉操作的一些问题进行讨论以供参考。这些问题不完全是操作方面的，和操作有关的一些问题如基本检测、原料要求也包括在内。

一、基本检测

基本检测和精料是目前我国转炉生产的最薄弱环节，这两项不具备必要条件，转炉操作不可能正常进行。

基本检测包括称量、流量、压力、枪位及成分、温度。目前我国转炉检测手段和国外差距很大，表现不仅在种类上，而且也在精度上。日本转炉操作是世界上最先进的，用副枪和电子计算机实行自动化控制。

对基本检测的要求如下：

- 1) 目前有些厂的原料无称量的盲目炼钢现象应限期早日结束；
- 2) 希望50吨以上的炉子都装上副枪；
- 3) 氧气积累仪是判定炼钢终点的一种手段，国内已能生产这种仪表，各厂都要配备并坚持使用；
- 4) 希望都能对铁水测温，以便较好控制出钢温度；
- 5) 希望每炉都分析铁水的硫、磷及硅、碳的含量；
- 6) 吹炼完毕测温是为了较准确地控制出钢温度，以便炉内调温或钢包调温。
- 7) 炼好钢首先要造好渣，炉渣分析是需要的。用渣饼目测估计渣中氧化铁及渣碱度的方法仍要沿用。因此，每炉需取渣饼，最好每炉都分析 CaO 、 MgO 、 SiO_2 、 P_2O_5 、 S 、 ΣFeO 等以检查冶炼操作。
- 8) 终点出钢前必须分析碳、硫、磷，不可只顾产量。国外即使没有直读光谱仪也可在收到试样后5分钟报出结果。只有这样，才能准确控制钢的成分，特别是内控成分。
- 9) 浓差定氧用以测定钢水氧化性，但国外尚不普遍应用，一般作为试验及制定操作规程时用，我们由各厂自行决定。
- 10) 提倡用取样器取样。我们取样还沿用样模及样片，误差较大。国外现用钢液取样器或石英管吸样器，比较准确，要求各厂采用。后一方法较便宜。
- 11) 浇铸前必须对罐内钢水测温。

二、精料

1. 要求原料质量高而且稳定

由于历史原因及物质条件，我国转炉生产多年来没有强调精料，甚至对石灰及铁水成

分都不讲究。我们的原料不只是质量低，而且成分波动大，使操作者控制吹炼过程及成品成分和温度十分困难，电子计算机也不能应用。现在我们的石灰、铁水、铁合金、矿石甚至氧气的质量都远不及国外。

2. 低硅铁水是发展趋势

铁水含硅问题，有些争论。一般说来，增加铁水含硅量可以增加废钢加入量。据日本新日铁户畑厂资料介绍，铁水中硅增加0.1%可以增加废钢配比1.3%，硅的增加还可以增加脱硫率。但是硅增加，增加了流量和喷溅，多耗石灰，降低钢水收得率和炉衬寿命。并且，高炉铁水含硅量增加0.1%，高炉焦炭消耗增加6.5公斤/吨铁，而转炉中硅的氧化所得的热量实际上只有高炉多消耗热量的9.6%，从能源利用上来讲也很不合算。日本铁水含硅量为0.4~0.8%，有的厂已降至0.5%以下。美国由于希望多吃废钢，铁水含硅量一般较高，如琼斯劳林公司克利夫兰厂为1.15%左右，200吨转炉吃废钢30%。由于废钢限制，日本新建企业转炉废钢比均为10%以下，我国废钢资源也很有限（估计除电炉外，平炉、转炉总废钢比约为19%），如铁水含硅量为0.85%，首钢30吨转炉已可吃废钢20%（折合数）。

我们要求铁水含硅量最高为0.85%，以后再继续降低上限。

铁水含磷根据铁矿资源而定，不能强求，但要求加强配矿及矿石混匀工作，以求波动量小。

3. 铁水脱硫及撇渣

近代科技的发展，对钢中的含硫量要求愈来愈低，各国钢铁厂为了竞争，也不断降低内控标准的含硫量。

硫不只使钢产生热脆，而且还降低钢的塑性、韧性、焊接性能，增加钢的各向异性，增加钢锭气泡废品、裂纹废品及钢材的分层废品。对硫的为害近年来有更深刻的认识。

国外目前普通钢材内控标准，硫也有在0.02%以下的，如日本的SPCC钢号。日本有的厂对其内控标准的含硫量分为六级，从 $\leq 0.03\%$ 到0.003%。寒冷地区输油管线用钢的硫 $\leq 0.003\%$ 。

入炉铁水含硫量国外一般要求0.04%以下，为了高炉节焦，也不要过低。在炼低硫钢时，采取铁水脱硫的措施。

铁水脱硫是发展趋势，有许多方法及脱硫剂，国外应用越来越多。宝钢原计划68%的铁水进行炉外脱硫，我国将有愈来愈多的脱硫设备出现。由于电石缺乏，我国致力于石灰粉脱硫。用喷吹石灰法，国外脱硫率也可达50~60%。

撇去高炉渣已成为国外许多钢铁厂的必经工序。高炉渣中含硫约2%，据美国两个钢铁厂的统计，高炉渣带进转炉的硫为进入转炉总硫量的40%以上，数量极为可观。高炉流入炉，不只增加钢中含硫量和石灰用量，而且降低硫的命中率及炉衬寿命。我国正在研究制造简易的扒渣机。据日本某工厂介绍，撇渣要使铁水面裸露出90%。

4. 提高入炉铁水温度

入炉铁水温度愈高，对转炉生产愈有利，可以使吹炼顺利、早化渣、减少喷溅及增加废钢比。国外入炉铁水温度一般为1300°C左右，鱼雷式铁水车铁水温度较混铁炉铁水高，但成分及温度波动较大。我国入炉铁水温度较低，应珍惜热量，减少周转中的热损失。

5. 改善石灰质量是重中之重

石灰是碱性炼钢的主要辅助原料，但多年来我们重视不够，严重影响钢的质量、炉衬寿命及原材料消耗，如不再提高石灰质量，改进转炉生产多少是空话。由于条件限制，我们的要求比国外的低。国外自顶吹转炉出现后，对石灰要求甚严。例如：

厂名	CaO, %	SiO ₂ , %	S, %	磷, %	粒度, 毫米
英国钢铁公司	95	1	0.05	25	
新日铁(对宝钢提出)	91.3	2.8	0.25	20	3~30

有条件的厂应立即采用高炉煤气烧石灰，降低石灰中SiO₂和S的含量，提高石灰活性度。活性石灰在国外已大量采用。它可以加快成渣速度，减少其用量，提高炉衬寿命。这是我们的发展方向，竖窑也可以烧制出活性石灰。

高镁石灰比一般石灰造渣容易。苏联叶那基耶沃冶金工厂的石灰含MgO为5~9%，美国有些石灰厂供应MgO为5~6%的石灰。这种石灰是CaO-MgO系的共晶体，熔点比纯CaO低280°C，活性度高，既加速成渣，还可提高炉衬寿命（报道为20%）。希望各厂能寻找高镁石灰用于顶吹转炉，这样收益必大。

为了早化渣，石灰块度愈小愈好。奥地利联合钢铁公司建议太钢要求为5~40毫米，日本新日铁为宝钢定为3~30毫米。我们目前一般偏高，但小于5毫米的石灰粒加入时易吹出炉外。

石灰含硫量国外要求日严：英国炼钢厂一般定为平均<0.05%，日本也报道为0.05%。我国用焦炭烧石灰，导致石灰硫高。

6. 提高矿石品位

低品位矿石作冷却剂，增加石灰用量及渣量。我国转炉所用铁矿一般品位都偏低，国外铁矿品位多在60%以上，奥钢联建议太钢及新日铁对宝钢分别要求为55~65%及≥60%，我国富矿虽少，原则上也应把富矿首先用于炼钢。国外有用球团矿或烧结矿代替富矿的，我们也可以向这方面发展。矿石块度较小可以减少加入后的喷溅，新日铁对宝钢矿石的粒度要求为8~25毫米。

7. 提高氧气纯度

我们的氧气纯度一般偏低（有的厂为>98.5%），而且波动大。奥钢联建议太钢要求为≥99.8%。由于条件所限，我们要求氧气纯度为≥99.5%。

8. 降低铁合金杂质

过去对锰铁中的Si含量注意不够。冶炼沸腾钢，锰铁中Si应≤1.5%，以免沸腾不良，降低钢锭合格率和成材率。

三、装入制度和供氧制度

装入制度可以是定量操作，也可以是分阶段定量操作，各厂根据自己的铸造能力决定，但不宜一炉多一炉少，以免打乱正常生产秩序。我们要求的炉容比是目前一般供氧强度下（供氧时间16分钟）的炉容比，避免引起过多的喷溅。当然，根据过去唐山侧吹转炉的经验，如果供氧强度小，吹炼时间延长，炉容比可以减小，但这对热效率来说是不经济的。

供氧制度有两个问题，一是吹炼中氧气压力和流量的变化，一是吹炼中枪位的变化。

关于压力和流量（吹氧强度）问题，顶吹转炉的搅拌力差，要求有较高的氧压，工作

氧压根据炉子大小在炉龄期前后一般为6~11公斤/厘米²，供氧强度以不发生喷溅为原则，一般为2.5~4.0米³/吨分。苏联叶那基耶沃冶金工厂为3.2~3.4米³/吨·分，吹氧时间为15.8分钟。日本吹氧强度较此为高，吹氧时间有些厂月平均为12分钟。炉容比、氧压强度和吹氧时间有一定关系，各厂自行研究决定，但要求吹氧时间不大于16分钟。首钢吹氧强度为3.3米³/吨·分（炉容比7.5米³/吨）。

关于枪位问题，氧枪距液面位置极为重要，与侧吹转炉风眼距液面位置一样，是吹炼顺利与否的关键。规定每班测定液面高低一次是最低要求。

我们定了三种枪位高度及其和侧吹转炉吹炼深度的对应。

日本新日铁对软吹和硬吹的区别，采用 L/L_0 比（ L 为氧流穿透深度， L_0 为熔池深度）来划分，我们对 L 的计算，还没有合适的办法，各厂各种枪位的氧枪高低数据，根据自己的喷头特点，实际吹炼情况和渣中 ΣFeO 来制订。

枪位制度各厂不一。罗马尼亚加拉茨钢铁厂为四段枪位，日本软吹时为三段枪位；我国首钢为四段枪位，太钢为三段枪位（近似四段）。四段枪位似较好。开初为了化渣，枪位较高以提高渣中氧化铁；当氧化铁积累相当多碳火焰将起时，逐渐降枪降低渣中氧化铁以防止碳焰上升，渣子喷溅；待渣子返干期时又提高枪位增加渣中氧化铁以防止金属喷溅；终点将到时又降低氧枪以加强熔池搅拌，减少渣中氧化铁，均匀钢水成分和温度以准确控制终点。

各厂可根据实际情况定出自己的枪位制度和枪位具体数值，但一些基本原则要确实遵守。

关于氧量和枪位的关系问题，国外有恒压变枪、恒枪变压（即变流量如日本新日铁釜石厂）及变枪变压（如苏联叶那基耶沃冶金工厂）三种，我国目前都是恒压变枪。本来在吹炼的各个时期熔池所能接受的氧量是不同的，在碳开始剧烈氧化时，产生大量 CO ，容易发生渣子喷溅，这时候应减少供氧量，以保持吹炼稳定。过去侧吹酸性转炉采用放风办法，对减少喷溅收效很大。承德钢厂顶吹转炉曾用降压降枪办法解决该厂炉容比小经常发生大量喷溅问题。希望有条件的厂能作恒枪变压及变枪变压的试验，在将发生渣子喷溅时减压减流，同时降低枪位，吹炼平稳时，用大氧压大流量。

四、造渣制度

“炼好钢要造好渣”这句话目前仍然正确。

目前各厂一般碱度偏高、渣量大，我们要根据铁水硅、磷、硫成分尽量减少流量，以求少耗热量、减少喷溅及多加废钢。

转炉渣碱度问题不像平炉，至今各方意见仍不一致，国外各厂规定也相差悬殊。

平炉炼钢渣碱度（ CaO/SiO_2 ）一般为2.5~3.2，转炉能倾倒炉子，没有出渣困难问题，一般偏高。一些厂的碱度规定如下：

厂名	碱度（ CaO/SiO_2 ）
奥钢联对太钢举例	低碳钢 3.0
日本新日铁釜石厂	低碳钢2.8，高碳钢3.4
罗马尼亚加拉茨钢铁厂	沸腾钢3.0，镇静钢3.5
美国J&L公司克利夫兰厂	低碳钢2.95
苏联叶那基耶沃冶金厂	3.0~3.5
苏联1970年转炉工作者会议	3.5~4.0

碱性渣的目的是去磷与去硫，但过高的碱度降低渣的流动性，影响磷、硫的传递和除去，远离钢渣平衡状态，与造渣的目的相违，而且还增加渣中氧化铁。碱度高造成的大流量增加了铁的损失（同时渣中铁珠总量也增加）。

我们希望碱度 $[CaO/(SiO_2 + P_2O_5)]$ 为2.6~3.5，各厂根据情况规定合适的碱度，再高已无必要。就去硫而言，虽说碱度高有利去硫，但不经济。根据一般的经验，碱度超过3.5已无必要，如图1-1所示。

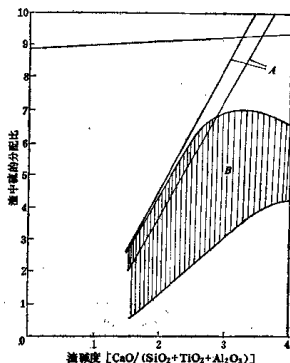


图 1-1 顶吹转炉渣碱度对硫分配比的影响（硫分配比的观察值分散是由于操作因素的影响）
A—硫的理论分配比；B—硫的分配比（顶吹转炉观察值）

现在不少厂终渣中氧化铁偏高，规范中规定成品碳在0.12%以上的钢， ΣFeO 不得超过20%，但对沸腾钢的 ΣFeO 作了下限规定，不低于12%，以免铸锭时沸腾不良。

渣料加入的批数，日本有些厂头批料为渣料的80~100%，奥钢联建议太钢为50%。我们的传统方法为多批量，最好连续加入，国外也有主张此法的。规范中规定头批料量为50%，以后多批少量加入，使加入的石灰能为炉渣所吸收，避免突然加入过多冷料，干扰吹炼顺利进行，而且石灰加入过多，容易结成石灰球，在炉内翻滚。日本一般吹炼操作程序示于图1-2。

从图1-2中可以看出，渣料是分六批于吹炼后加入的。

矿石的每批加入量不宜过多，以免引起大飞溅及炉况过分波动。

萤石的加入时间，国外作法不一，有的在早期，有的在中后期。早期加入，为了早化渣，但对炉衬侵蚀较大。我们的意见最好在中后期渣子返干时加入，这样可以提高金属回

我们的碱度表示法为 $CaO/(SiO_2 + P_2O_5)$ ，比 CaO/SiO_2 碱度表示法为低，设渣中 P_2O_5 为2%，则前者碱度表示法为3.5时，后者为3.8。用 $CaO/(SiO_2 + P_2O_5)$ 的表示法比较科学，即使铁水含磷较高，也可适用，在托马斯高磷生铁炼钢时也够了。以某书所举的高磷渣为例，渣中 P_2O_5 为16.35%及17.18%，渣碱度分别为2.15及2.0。

按照国外一般惯例，我们未将 MgO 列入碱度分母中。

渣中 MgO 对去硫去磷的关系，说法不一，规范中定为不超过8%。我们自采用白云石造渣以来，对提高炉龄起了较大作用。但有的厂过于强调炉龄，加入 MgO 过多，对去磷去硫有害无益。一般资料报道 MgO 溶解度一般为6%，超过此数，渣子变粘，影响硫、磷的传递，并且造成炉底上涨。

● 一般渣中 Al_2O_3 及 TiO_2 不高， $CaO/(SiO_2 + Al_2O_3 + TiO_2)$ 与 CaO/SiO_2 相差不大。

● 钒钎铁水炼钢时不用此式。

收率。至于早期成渣，可用提高枪位及加矿石的方法。萤石对炉衬侵蚀甚剧，应尽量少加。

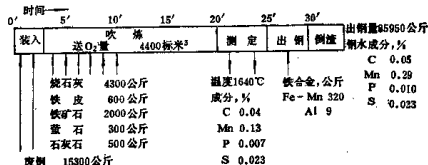


图 1-2 一般的吹炼操作程序 (低碳沸腾钢)

关于锰制度，不少资料认为余锰对终点碳在0.06%以下的钢是重要的，不然，钢中含氧量高，而且波动大。日本有的厂要求[C]、[Mn]≥0.004%；终点碳为0.04%的钢，余锰应在0.10%以上，在渣料中加入廉价高铁锰矿。究竟如何，我们这次只作为一个问题提出，未作具体规定。

五、终点控制与出钢

我们要求准确的终点成分与温度，波动范围尽量小。日本一般要求终点碳在规定中间值的±0.02%以内，终点温度为规定中间值的±10°C以内。我们要求各种钢号都根据需要制定成分波动范围小的内控标准并据此控制终点。

出钢温度应使模注温度不高于液相线30~50°C。

为了减少浇注中钢水温度的波动，要求各厂钢包不论新旧，一律红包出钢，这也可降低需要的出钢温度。

由于我们的转炉厂一般没有付枪，不能在吹炼中测定定碳，规范中推荐高拉补吹办法，先高拉一些，根据测定，再补吹若干时间并加调温剂，如此命中率可以高些，成分和温度都在规定范围内才可作为命中。

我们有经验的工人，对成品碳为0.20%以下的钢能用肉眼较准确地作出判断，如能一次拉碳命中终点是很好的。但在碳为0.20%以上的钢，就较困难，可以借助氧气管积累仪来控制高拉时间。

高拉补吹后，如碳高，进行再吹；如温度不合，根据情况在炉内或包内调温。

末期的冷却剂，国外采有废钢、石灰石、石灰。日本新日铁釜石厂用转炉渣。用回炉渣降温比用石灰经济并可避免渣子过稠。但是，我们现有转炉一般料仓少，没有炉渣料仓。末期的增温方法，国内外有的厂用再吹，这降低了钢的含碳量，增加了含氧量。我们认为加硅铁或焦炭的办法较好。唐山钢铁公司有用焦炭增温的经验。

末期加入矿石，影响钢的质量，日本有的厂规定加入的矿石需在终点前三分钟熔化完，我们规范中规定在终点前四分钟加完。

终点碳的控制是拉碳法还是增碳法（包内），各方意见不一。有主张吹炼至低碳再在包内增碳炼高碳钢，因为欧洲各国用高磷生铁炼钢，一直沿用此法。过去增碳用铁水，现在用沥青焦。例如西德胡金根厂和日本新日铁八幡厂生产各种钢管，新日铁君津厂生产硬

钢丝, 均可用增碳法, 但用沥青焦及经过吹氩或真空处理。我们暂要求高拉碳是因较之增碳法有吹炼时间短、耗氧少、钢水收得率及炉衬寿命高等优点。对钢的质量来说, 可能非金属夹杂物及含氧、氮量低一些, 成分也易于控制, 许多资料推荐此法。至于磷较高的包钢铁水炼重轨钢, 是否可采用双渣高拉碳法尚需试验。

由于转炉快速反应, 我们又缺乏控制手段, 终点碳不可能都准确, 有时需要在包中少量增碳。规范规定增碳量不超过0.05%时, 推荐用沥青焦增碳, 若超过此值时, 要吹氩处理, 增碳量不得超过0.20%。罗马尼亚加拉茨钢铁厂规定增碳量不超过0.08%, 奥钢联建议太钢为0.10% (高拉碳时), 我们暂作此规定, 以后再考虑是否可放宽或废除此限。

为了保证及准确控制成品成份, 要求终点一定取样分析碳、硫磷后才能出钢, 不可单纯追求产量, 国外都如此做, 我们许多厂也已有此规定。

出钢时间, 平炉控制较严, 转炉也应同样注意。过长, 会降温过多和造成钢水二次氧化多。过短, 则带出过多渣子, 造成铁合金回收率低、钢水成分波动大, 钢中含氧、含磷 (回磷) 及非金属夹杂物高。因此, 出钢口的合理选材及维护是转炉生产的新课题。奥钢联建议太钢50吨炉子的出钢时间为3~5分钟, 法国100~300吨炉子为3~6分钟。我们规范中规定: 根据炉子大小, 为1.5~6分钟。

我们推荐少渣出钢法, 即采用挡渣球出钢, 这项技术在国外已逐渐采用。作为准确控制钢水成分和提高钢的质量的一项重要措施。推广这项技术除挡渣球的制造外, 还需轻便的加入设备、合适的加入时间, 及维护出钢口的正常形状尺寸。国外出钢口有用电熔镁砂的。挡渣球出钢后钢液面的保护, 国外有用稻壳的, 我们有来源及经济问题, 需研究代用品。罗马尼亚加拉茨钢铁厂用干燥锅炉灰。

关于操作原始记录表的内容格式及生产考核指标的定义 (如作业率、利用系数) 以及为了提高生产技术水平所需要的统计分析数据, 待以后会议再行讨论规定。

最后, 需要提出的: 第一, 操作规范的执行, 决定于对有关职工的教育, 请各厂根据此规范向职工讲课, 从道理上说清各项规定的原因和必要性。第二, 请各厂制订有关技术改造方案时, 以此规范为依据之一, 限期为执行此规范创造必要条件。

参考文献

- [1] 西尾好光等, 转炉钢的成分控制, 首钢《国外氧气顶吹转炉炼钢文献》(简称《国外顶吹文献》, 下同) 第5辑。
- [2] 日本氧气顶吹转炉炼钢文集, 首钢《国外顶吹文献》, 第10、11辑。
- [3] D. Cosma等, The Effect of Hot Metal Silicon Content on BOF and Blast Furnace Operations, Steelmaking Proceedings AIME, Vol. 63, 1980.
- [4] E. J. Baldziki等, The Integration of Operation Practices and Improved Hot Metal Chemistry in the BOF, Steelmaking Proceedings AIME, Vol. 63, 1980.
- [5] 最近十年日本氧气炼钢技术的发展, 1975, 首钢《国外顶吹文献》, 第12辑。
- [6] 《氧气转炉造渣制度》翻译组, 氧气转炉造渣制度, 冶金工业出版社, 1975年。
- [7] 余振生等, 顶吹氧气转炉半钢炼钢造渣制度, 钢铁, 第14卷, 第3期, 1979年。
- [8] Basic Open Hearth, Steelmaking, 1964年, p. 973.

2. 我国氧气转炉钢的品种质量概况

及其改进途径

北京冶金机电学院 韩至成

一、基本情况

首钢30吨氧气顶吹转炉自1964年底投产以来,全国各地相继建立各种类型的氧气顶吹转炉车间,氧气转炉已成为我国重要炼钢方法之一。据统计,1980年我国产钢3712万吨(其中锭坯3525万吨),其中平炉钢占32.03%,顶吹转炉钢占40.64%,侧吹转炉钢占8.11%,电炉钢占19.14%。目前世界上顶吹转炉最大的为400吨(西德),我国顶吹转炉小型的居多,平均吨位为21吨,最大的为150吨(鞍钢)。宝钢计划兴建的顶吹转炉容量为300吨,采用副枪控制,有煤气回收设施,计划生产优质钢及低合金钢比为61%。

这些年来,我国炼钢工作者在注意狠抓提高炉龄和钢产量的同时,在扩大钢的品种,提高钢的质量方面也做了大量工作。据不完全统计,全国氧气转炉已试制的钢号超过170个,取得了不少经验。这些试制或已生产的品种中,包括以08铝为代表的深冲用钢;以35锰硅为代表的合金结构钢和20锰钒为代表的中碳普通低合金钢种;以重轨和滚珠钢为代表的高碳优质钢种;以超低碳不锈钢为代表的合金含量达30%的高合金钢种;以及工业纯铁和硅钢等。最近几年,一些厂还成批试验或生产了60Si2Mn汽车弹簧扁钢,并开展了60Si2Mn弹簧钢添加稀土元素以及16锰添加稀土元素的试验。攀钢120吨氧气顶吹转炉已成批生产钒钛重轨钢——PD₁,并试炼了石油套管钢24MnMoV。此外,某些厂曾经试验或生产的品种见本文附表。

目前,国际上一致公认氧气转炉钢具有如下三个特点:

1) 钢中气体含量少,钢液含氧量在脱氧前主要决定于钢中含碳量,氧气顶吹转炉的冶金反应比平炉和电炉更接近平衡,即在相同含碳量下,熔池中钢液含氧量比平炉的低,钢材中氧化物夹杂含量也相应地低些。

2) 由于炼钢主要原材料为高炉铁水,所用废钢量所占比例不大,误入的有害杂质如镍、铬、铝、铜、锡含量较少,钢质较纯,性能优良。

3) 生产极低碳钢很方便($C \leq 0.03\%$)。

由于钢中气体和夹杂量少,所以在性能上具有如下优点:钢的抗时效性能好;冷加工变形性能好;焊接性能好;钢材的内部缺陷少。但也有不足之处,如强度偏低,淬火性能稍次于平炉和电炉钢,但能符合标准要求。

国内氧气转炉的生产实践也同样表明,氧气转炉钢的质量良好,可与同类平炉钢相比美,甚至可能达到电炉钢的水平。由表2-1可见,太钢的50吨顶吹转炉与太钢同钢种的平、电炉钢相比,顶吹转炉钢中含氮量低。而氮对钢的时效、淬透性及硅钢和工业纯铁的导磁性和矫顽力(H_c)影响很大。由表2-2可见,钢种相同,转炉钢夹杂含量较平炉、

电炉少。夹杂含量的多少，对硅钢和纯铁的导磁性及矫顽力影响很大，故钢质越纯净越好。

表 2-1 转炉钢含氮量与平炉、电炉钢的比较

钢 种	冶炼方法	包样中氮, %	钢样中氮, %	取样炉数
A ₁ F	转 炉	$\frac{0.0014 \sim 0.0042}{0.0029}$	—	13
B ₂ F	平 炉	$\frac{0.0036 \sim 0.0043}{0.00395}$	—	2
工业纯铁	转 炉	$\frac{0.0058 \sim 0.0077}{0.0067}$	—	7
DT ₁ , DT ₂	电 炉	$\frac{0.0053 \sim 0.0116}{0.0085}$	—	26
热轧低	转 炉	—	0.0040~0.0079	11
硅电机钢	电 炉	—	0.0075~0.0083	13

注：分子数值表示波动值，分母数值表示平均值。

顶吹转炉钢的机械性能、工艺性能（深冲性、冷热顶锻、可加工性、焊接性等）以及其它方面的性能也是良好的。

国内某些顶吹转炉厂生产的中高碳结构钢（45[#]、60K等）的强度在高于平炉钢的情况下，其塑性优于平炉钢。鞍钢150吨氧气顶吹转炉生产的冷轧汽车板钢质量良好，冷轧汽车板的冲度率仅为0.08%，获得了国家金牌奖。首钢还曾试验过用5吨和30吨顶吹转炉生产GCr15等牌号的滚珠轴承钢。

为了加速我国不锈钢的发展，尽量采用先进技术，从1973年起，结合我国生产实际情况，太钢还开展了氧气顶吹炼不锈钢新工艺的试验研究，并取得了良好成果。

表 2-2 转炉钢夹杂含量与平炉、电炉钢比较

钢 种	冶炼方法	夹杂总量, %	取样炉数
低 硅 钢	转 炉	0.0120	3
	平 炉	0.0123	3
冷 轧 取 向 硅 钢	转 炉	0.0104	30
	电 炉	0.0254	5
无 硅 电 机 钢	转 炉	0.0010~0.0128	11
	电 炉	0.0181~0.0202	3
工业纯铁	转 炉	0.0176	6
	电 炉	0.0217	8

值得指出的是，最近几年国内在开展全面质量管理提高钢的质量方面已经积累了一定经验。例如上钢一厂运用PDCA方法经过几年的努力，使该厂顶吹转炉冶炼和连铸生产的板坯轧成的船板质量基本上达到了国际先进水平。上钢三厂生产的20MnSi、25MnSi和40Si2V等规格为 $\phi 20 \sim 32$ 毫米的钢筋也深受国内外用户的欢迎。

总之，国内生产实践亦表明，氧气转炉已能生产平炉冶炼的许多钢种及电炉部分钢种。显然，如果采取更为有效的措施，将能进一步扩大转炉钢的品种，改善转炉钢的质量。

应该指出,就国内目前情况来看,为了扩大转炉钢的品种,提高转炉钢的质量,有一系列问题亟待解决。

二、目前存在的主要问题

这些年来,我国冶金生产中存在着重产量、轻品种、轻质量的倾向。钢的品种和质量远远不能适应国民经济各部门的需要。当前,我国国民经济正处于调整阶段,面对人民在衣、食、住、行、用方面对各类钢材的需要,产品结构的改革已成为一个十分突出的问题。目前一些厂虽然也生产着一些受用户欢迎的产品(例如上钢一厂的焊条钢、船板钢等,上钢三厂的钢筋钢、深冲钢等,太钢的硅钢、工业纯铁、冷墩钢等,攀钢的含钒重轨等,首钢的钢筋钢等,唐钢的矿用钢等……),但就全面范围而言,氧气转炉仍以生产普碳钢为主,其中沸腾钢占有一定比例。目前,我国钢种纳入部标及国标中有451个(不包括军工产品),仅次于苏联。美国钢种标准为301个,日本为299个,西德为229个,英国为249个。由此可见,我国钢种标准是不少的,但据1979年统计,我国实际生产的低合金钢比仅为8.4%,优质钢比为31.1%,合金钢比为7.2%,而且这些品种主要是由平炉和电炉生产出来的,与国外相比,差距很大。例如,美国1979年转炉钢占全部钢产量的比重已达61.3%,而且美国用转炉冶炼的钢种齐全,从普碳钢到特殊钢、合金钢,从超低碳钢到高碳钢都能顺利生产。美国从1970年开始,转炉合金钢的产量已超过平炉,接近电炉。1971年美国材料试验协会(ASTM)所公布的标准1~4部分统计表明,顶吹转炉已可冶炼263种,其中包括碳素钢、多元素低合金结构钢、弹簧钢、硅钢和低温用镍钢(Ni 9%)等。1974年开始,美国转炉合金钢的产量已超过电炉。美国联合碳化物公司Linde分厂发明了用AOD炉冶炼不锈钢,并已建成了世界上最大的AOD炉(175吨)。我国转炉钢的品种质量情况与日本相比,差距更大。1979年日本转炉钢已占全部钢产量的76.4%。最近几年,除日本电炉钢发展很慢,相对比例有所下降外,世界各国在发展转炉钢的同时,电炉钢也得到一定发展。日本电炉钢发展慢是因为他的转炉钢的质量高。日本的转炉不但能炼所有的平炉钢种,而且能炼大部分的电炉钢种。日本在特殊钢的产量中,氧化转炉钢的比重越来越大。而且各转炉厂由于普遍采用铁水预处理及炉外精炼、真空处理等措施,扩大了转炉钢的品种,提高了其质量。日本目前约有15%的钢进行真空处理。转炉钢的产品包括:结构钢、油井套管、锅炉钢管、高碳钢、不锈钢、弹簧钢、高碳钢线材,调质合金钢等,半镇静钢在日本的一些转炉厂产量也很大。

综上所述,我国氧气转炉在钢的品种方面的生产情况与国外先进水平相比,差距很大。

钢的质量也是我国炼钢生产中一个极为突出的问题。我国氧气转炉目前以生产普碳钢为主,其中沸腾钢占有一定比例,而沸腾钢目前主要用硅铁封顶工艺,以每吨钢消耗0.5公斤硅铁为例,每年要消耗上万吨硅铁,每吨硅铁要耗电数千度,这不仅大量耗用能源,减少了硅铁用于合金钢的生产,而且,这种封顶工艺常易产生流渣废品。若含碳低($C \leq 0.10\%$),注温高,特别是封顶不良造成顶部上冒或下凹时,出现流渣较多。这很可能是由于钢锭头部顶壳不致密,在均热炉加热时,顶壳烧穿,炉气进入钢锭头部中心气囊使内壁氧化的结果。硅铁封顶的钢锭形成的硅酸盐夹杂,分布在钢锭顶部的15~30%高度上。这些夹杂物若大量聚集在偏析区,轧制时则不能焊合。用硅铁封顶的钢锭轧成中厚板和型

钢时，硅的影响尚不突出，如轧成薄板，势必因夹杂物而造成大量分层废品，特别是用来做镀锌、镀锡板时，由于硅已延至表层，直接影响镀层质量。

国内不少企业用8英寸或11英寸上小下大的小定型，加之基本操作有不同程度的发松，又缺乏必要的测试手段（如铸温、氧化性的测试等），故钢锭质量难以保证。此外，国内不少厂虽然按国家标准或部颁标准要求炼钢，但往往只要求合格，磷、硫偏上限，成分波动大，势必影响钢的性能，近一两年来，有些厂对部份钢种实行了严格按内控标准冶炼，但与国外钢厂所炼钢种全用内控标准，而且要求较严相比，差距仍然很大。国外通行的钢种标准每三、五年修订一次，甚至不到三、五年就修订一次。我国的民用冶金产品往往多年未修订。有些性能类似的钢种用户希望统一，但我国在钢种方面的统一工作不够完善。例如，仅汽车大梁用钢就有六种。

顶吹转炉钢由于其含氮量低，使钢的强度较平炉同类钢种低2~3公斤/毫米²，有的厂生产16Mn时，由于终点碳控制偏低，结果强度不合格。因此，一方面应注意控制终点碳，另一方面还可采用相应的钢号代替。

我国铸钢类比例一直不合理。1980年冶金系统中镇静钢占钢锭铸坯比例的65.4%（包括连铸坯6.5%），沸腾钢占34.6%，半镇静钢只占0.1%，是成材率低的原因之一。1980年我国成材率约为76%，比日本低14%。半镇静钢钢材的机械性能与同级钢号的镇静钢材相近，而其钢锭成材率则比镇静钢高（半镇静钢的切头率比带保温帽的镇静钢少6~10%），铁合金的消耗量少，钢的成本低，浇注钢锭时不需要保温帽从而简化了整模、铸锭操作。半镇静钢可广泛用于焊管、薄板、型钢……等方面。由于半镇静钢具有上述优点，世界上各主要产钢国家的钢产量中半镇静钢都占有相当的比重。英国约占1/3。苏联发展较晚，目前也达10%以上。我国的半镇静钢研制工作虽然已有20余年的历史，武钢、鞍钢、包钢平炉厂都试验过或曾投产过一批半镇静钢，首钢及唐钢转炉均试过“外沸内镇”半镇静钢，但到目前为止，投入生产的只有少数几个钢号（为唐钢生产的20MnNb半镇静钢钢筋），产量比重很小，不到1%。这表明，我国半镇静钢生产还处于落后状态，我们需要努力赶上。半镇静钢生产的难点在于脱氧程度较难控制，必须解决定氧的手段问题。

近年来，我国在保护渣浇注工艺方面取得了不少进展，但如何结合我国的资源情况，采用各种保护渣系列，以便适用各种钢种浇注操作的要求，尚有待进一步深入研究。为了解决保护渣的粉尘污染问题，还需要解决保护渣造粒工艺。为了改善某些钢种的质量，应解决保护渣中碳对钢锭的增碳问题，可考虑采用无碳保护渣。

精料尤其是石灰质量是当前生产中应该注意的一个重要问题。近年来国外已广泛研究并运用软烧石灰，而且在石灰标准中均列入活性指标。我国武钢已有进口的回转窑焙烧活性石灰。新余钢厂及太钢用高炉煤气在土竖窑中焙烧活性石灰，取得一定效果。但国内各厂大都用焦炭竖窑煅烧石灰，石灰的生烧、死烧率高且含CaO（有效）低，含硫高对稳定钢水成分及温度均造成很大困难。

铁水炉外脱硫在世界各国现已广泛采用，近年来，为了经济而有效地生产超低硫、低磷的高级优质钢和实现所谓无渣炼钢。许多冶金工作者正大力研究各种熔剂对铁水的同时脱磷和脱硫的问题。有些资料报道，在鱼雷铁水中采用喷吹石灰粉的办法，可以把铁水中硫从0.04%降至0.015%，由于此法不需要用电石粉，成本低，故可能有较大发展。我

国现在只有武钢从日本进口的KR搅拌法设备，用 CaC_2 作为脱硫剂。宝钢计划采用鱼雷混铁车喷吹石灰粉及 CaC_2 粉脱硫，硫可从0.04%脱至0.005%。目前全国绝大多数转炉厂未采取铁水脱硫措施，故冶炼高质量钢将产生一定困难。

据日本的研究资料报道，当采用铁水预脱磷、脱硫在炼含 $\text{C}>0.6\%$ ， $\text{P}<0.015\%$ 的高碳优质钢时，每吨钢可节约石灰65公斤，白云石13.5公斤，萤石7.1公斤，矿石或铁皮10公斤，并免去加入 CaC_2 ，另可提高金属收得率2.4%，在冶炼含磷 $<0.004\%$ 的超低磷钢时，其优点更为突出。寻找一种理想的脱磷、脱硫剂已成为当前国际上研究的重要课题之一。国外已试验过的脱磷脱硫剂有： Na_2CO_3 、 $\text{Na}_2\text{CO}_3\text{-Na}_2\text{SO}_4$ 、 $\text{CaCO}_3\text{-CaSO}_4$ 、 CaO-FeCl_3 等。北京钢铁学院曾用 $\text{Na}_2\text{CO}_3\text{-CaO-Fe}_2\text{O}_3$ 系熔剂进行了铁水脱硫、脱磷的试验。但就全国范围而言，我国这方面的工作还做得很少。

国外有不少老冶金企业，其主体设备和我们大致相当或差不多，但他们在老设备上安装了新的计量和监测仪表以及控制设备，能够精确地测定各种工艺参数，这样，就使炼钢进入了科学阶段。国外近年来不少新建企业的转炉往往采用自动化系统。当用副枪检测和电子计算机系统进行动态控制，并且在炉前配备真空直读光谱快速分析时，碳和温度的命中率可达80%。与国外相比，我国转炉的计量检测设备水平非常落后。目前，我国只有太钢开始试用电子计算机，进行静态控制生产。大多数厂炼钢工凭经验判断钢水碳、温度、氧化性，这显然对扩大品种提高钢质量有一定困难。

三、改进途径

1. 当前急需解决的几个问题

(1) 调整产品结构，提高产品质量

为了适应我国国民经济调整的需要，应想法设法尽快增产国家所急需的短线产品。由于冷、热轧优质薄板和带钢是国内急需的产品，因此，努力增产深冲用钢并提高其质量是我们冶金工作者当前一项十分重要的任务。

鉴于我国生产的沸腾钢大多采用硅铁封顶，质量很不稳定，轧薄板时常出现分层废品，难以保证板材质量，应改为机械封顶或瓶式模浇注。一时还不能实现的单位，应对硅铁封顶工艺有严格的要求并不断地进行改进。例如，硅铁封顶的钢锭常出现“孔洞”废品，必须对硅铁的块度、加入量、加入时间、加入方法等进行周密的考虑，才能避免这种缺陷的产生。

前面已经指出，我国不少转炉厂采用上小下大模子浇注11英寸开口锭，必须严格浇注工艺才能控制缩孔深度，提高钢锭质量。还应加强钢锭的检验和精整制度，才能减少轧后废品。

(2) 加强企业管理，抓好职工培训工作

我国冶金企业管理落后是当前一个十分突出的问题。管理落后的关键在于基础工作不扎实。为此，要特别扎扎实实地抓好基础性的管理工作。要特别切实地注意抓好健全并贯彻岗位责任制，加强原始记录、统计、计量、检测等方面的工作，搞好各种定额管理。除此以外，还应加强产品检验制度的管理。目前在调整期间产量任务不太重的情况下，应把钢的品种质量作为一项重要任务来抓。为了完成这一任务，必须加强对职工队伍的培训。