

[19]中华人民共和国国家知识产权局

[51]Int. Cl⁶

C21B 13/00

[12]发明专利说明书

[21] ZL 专利号 95196919.6

[45]授权公告日 1999 年 12 月 22 日

[11]授权公告号 CN 1047631C

[22]申请日 95.12.5 [24]颁证日 99.9.11

[21]申请号 95196919.6

[30]优先权

[32]94.12.20 [33]US [31]08/359,601

[32]95.9.11 [33]US [31]08/526,448

[86]国际申请 PCT/US95/15733 95.12.5

[87]国际公布 WO96/19591 英 96.6.27

[85]进入国家阶段日期 97.6.20

[73]专利权人 USX 有限公司

地址 美国宾夕法尼亚州

共同专利权人 普拉塞尔技术有限公司

[72]发明人 G·H·盖格 A·K·辛哈

A·维斯利科斯 杜志游

[56]参考文献

CN10717202A 1993. 4. 21 C21B13/00

GB2026548A 1980. 2. 6 C21B11/00

US4053301A 1977. 10. 11 C22B5/14

US5137566A 1992. 8. 11 C22B5/14

审查员 徐 川

[74]专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

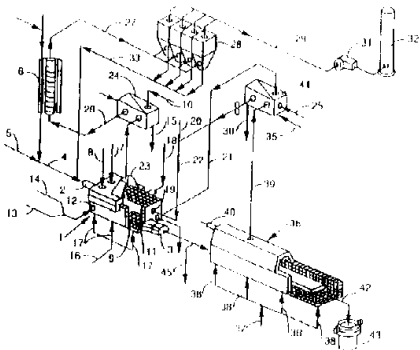
代理人 钟守期 吴大建

权利要求书 3 页 说明书 35 页 附图页数 7 页

[54]发明名称 由碳化铁制造钢的方法和装置

[57]摘要

一种由碳化铁制造钢的两阶段反应,在两个分立的但相互联系的反应器(1, 36)中进行。在第一反应器(1)中,碳化铁和造渣剂供入供料端(2),其间反应充分混合。含碳量约为 0.5~2%的产物送至第二反应器(36),在其中进行精炼。第二反应是自热的,并且产生的一氧化碳送至第一反应器(1),以助于使得反应基本上也是自热的。还公开了用于该方法的装置。



权 利 要 求 书

1. 一种生产钢的自热方法, 包括提供封闭的长型熔化脱碳第一反应器和长型的最终吹氧精炼第二反应器, 第二反应器的长度远长于宽度; 在第一反应器中提供液态铁碳合金熔池; 通过引入包括石灰石的造渣材料而提供覆盖液态铁碳合金熔池的泡沫渣层; 将预热后的粒状碳化铁装入铁碳合金熔池中; 将氧注入到铁碳合金熔池, 从而对熔池进行脱碳并形成一氧化碳; 向第一反应器引入来自最终精炼反应器的更多的一氧化碳; 用注入到泡沫渣层的氧气燃烧在泡沫渣层中的基本上所有一氧化碳; 以充分混合和基本上自热进行的方式继续在第一反应器中反应, 直到第一反应器中液态铁碳合金中的碳含量达到所期望的水平, 以将液态铁碳合金引入最终精炼反应器; 在第一反应器中对液态铁碳合金脱渣, 并将脱渣后的液体引入最终精炼反应器的入口端, 所述脱渣后的液体是基本上无渣的、部分脱碳的液态铁碳合金, 具有 0.5% 到 2% (重量) 的碳含量; 通过以间隔开的位置将氧气注入最终精炼反应器中的液态金属中而沿着最终精炼反应器的长度方向将其划分为一系列互相间隔开的分区, 由此产生一氧化碳并对每个分区的液态金属施加竖直方向运动和围绕注入氧气的循环运动以尽可能减少回混, 并且当液态金属从一个分区向下游流向另一个分区时, 在不同分区之间形成碳梯度, 使得最后一个分区的碳含量为 0.01% 到 0.5%。

2. 根据权利要求 1 的方法, 其中在第一反应器中的铁碳熔池是充分混合的, 并且第二反应器中的金属熔池基本上以活塞式流动。

3. 根据权利要求 1 的方法, 其中第二反应器的金属熔池中的反应通过第二反应器中金属熔池表面下吹入氧气而得以促进, 并自热进行。

4. 根据权利要求 1 的方法, 其中氧气从各自金属熔池的表面之上、之下或二者的组合分别吹入第一反应器和第二反应器的金属熔池中。

5. 根据权利要求 1 的方法, 其中装入的原料基本上是预热到至少 550℃ 的碳化铁, 在第一反应器产生的一氧化碳在泡沫渣层中燃烧, 且第一反应器中的反应基本上是自热的。

6. 根据权利要求 5 的方法, 其中本方法是连续进行的。

7. 根据权利要求 2 的方法, 其中氧气沿着各相应反应器的长度方向在间隔开的位置被注入长型的第一反应器和长型的第二反应器的金属熔池中, 并且第一反应器产生的中间产物铁碳合金在被引入到第二反应器之前先进行脱渣处理。

8. 根据权利要求 7 的方法, 还包括通过在第一反应器金属熔池的表面下吹入氧气而在该反应器的泡沫渣表面下进行所产生一氧化碳的后燃烧。

9. 根据权利要求 8 的方法, 还包括利用第一反应器产生的废气的显热对装料碳化铁进行预热。

10. 根据权利要求 5 的方法, 还包括收集第一反应器中反应产生的灰尘并将灰尘送回第一反应器中。

11. 根据权利要求 1 的方法, 其中在反应器的方法是以半连续方式进行的。

12. 由碳化铁生产钢的装置, 包括

- 有耐火衬的熔化脱碳第一反应器;
- 在第一反应器中提供液态金属熔池和泡沫熔渣层的装置;
- 将粒状的碳化铁作为原料装入第一反应器的装置;
- 在第一反应器的数个位置将氧吹入液态铁碳熔池中的装置;
- 将后燃烧氧气吹到第一反应器的液态铁碳熔池表面之上的装置;
- 吹入一氧化碳并使之与氧气于第一反应器铁碳熔池之上燃烧的装置;
- 单独的长型的有耐火衬的精炼用第二反应器, 适用于接受第一反应器产生的液态铁碳合金; 和
- 沿第二反应器的长度方向以间隔开的位置将氧吹入到液态铁碳合金中的装置。

13. 根据权利要求 12 的装置, 还包括:

—收集第一反应器中燃烧一氧化碳所生成的富含二氧化碳的废气并利用这种废气中的显热预热碳化铁原料的装置;

—收集从第一反应器的铁碳熔池中排出的灰尘并将灰尘送回第一反应器的装置;

—收集并冷却在第二反应器中生成的一氧化碳气体并将其送到第一反应器中以与氧气在其中一起燃烧的装置, 以及

—收集第二反应器中生产的最终液态钢产品的装置。

14. 根据权利要求 13 的装置, 还包括在第一反应器出口端附近的一个用于出渣的出渣口。

15. 根据权利要求 13 的装置, 其中第二反应器的出口端比其进口端低, 并且第二反应器金属流通道长度至少是金属流通道宽度的 10 倍。

16. 根据权利要求 12 的装置, 其中有耐火衬的精炼用第二反应器包括与反应器装料端相邻的第一部分和与反应器出口端相邻的第二部分; 并且其中在反应器第一部分中的液态金属熔池的宽度和深度比在反应器第二部分中的液态金属熔池的宽度和深度大。

17. 根据权利要求 16 的装置, 其中包括在反应器第一部分中的液态金属熔池的长度比包含在反应器第二部分中的液态金属熔池的长度小。

说明书

由碳化铁制造钢的方法和装置

5 背景

本申请是 1994 年 12 月 20 日提交的申请序号为 No.08,359,601 申请的部分继续申请。

发明领域

10 本发明涉及经两个紧密联系的阶段由碳化铁制造钢的装置和方法，这两个阶段包括：在第一阶段的反应器中通过燃烧高能气体而产生中等碳含量的铁碳合金，该高能气体除了包括在第一个反应器中产生的高能气体之外，还包括来自第二阶段反应器的气体，这种铁碳合金被用作原料装入第二阶段反应器中，在第二阶段反应器中生产具有最终要求碳含量的钢。

15 相关现有技术的描述

Stellung 等美国专利 No. 2,780,537 公开了一种生产碳化铁的方法，并声明该产品可在已知结构的炼钢炉中氧化成铁。

Kalling 等美国专利 No. 2,978,318 公开了将含有碳化铁的粉末原料连续地装入“Kaldo”式回转炉以生产钢。该专利声明装入的原料提供了反应所需的全部热量，但不会将硫引入该工艺中。

20 Raquin 等美国专利 No. 3,486,882 公开了一种钢的连续生产方法，它包括将经过预先还原的成钢材料连续装入精炼炉内的熔池中，并同时生热材料和气态氧引入炉中。这种经预先还原的成钢材料是已还原到 40%—100% 的铁矿石。该材料以升高的温度装入炉中，且可能包括碳或足量的其它生热元素以提供反应过程所需的热量。

25 Rouanet 美国专利 No. 3,527,598 公开了一种利用碳化或未碳化的预先还原球团矿在反应器中连续炼钢的方法。碳化的或未碳化的球团矿的全部碳含量使得与氧反应可提供实现该过程所需的全部热量。

30 Stephens Reissue 专利 No.32,247 公开了一种利用流化床方法从铁矿中制造碳化铁的方法。碳化铁产物随后装入炼钢炉、例如炼钢用的碱性氧气转炉或电炉中。

虽然 Stephens 的原始专利 U.S.No.4,053,301 描述的炉子为碱性氧气转炉或电炉,但上述 Stephens Reissue 专利广泛地要求保护“炼钢炉”。Stephens Reissue 的专利实施情况也表明,该发明炼钢方法中应用的炉子类型与该专利的主要新颖性无关。因此,Stephens Reissue 专利的实施情况表明,Stephens 方法不限于具体的炼钢炉,而也可以包括其它现有技术的炼钢炉,例如象反应器。

另外,Stephens Reissue 专利中第 2 栏、第 20-22 行表明碳化铁的生成和随后向钢的转变可以是“一个连续过程”。在第 4 栏、第 16-21 行 Stephens 声明当热的碳化铁被直接加入炉中时,这一过程是“连续的和自热的”。Stephens 也声明,炉中产生的废气含有约 90%的一氧化碳,它可以被收集起来和氧一起燃烧而产生热能。

例如以铁矿石为原料连续炼钢的构思,由 Queneau 在金属杂志 (Journal of Metals), 1989 年 12 月, 30 - 35 页“用于铅的 QSL 反应器 及其用于镍、铜、铁的前景”(“The QSL Reactor for Lead and its Prospects for Ni, Cu, Fe”)中已讨论过, Worner 在下列文献中也讨论过: WORCRA (连续)炼钢、平炉论文集(WORCRA(Continuous) Steelmaking, Open Hearth Proceedings,)1969, 57-63 页,以及矿物、金属和材料协会 Savard/Lee 国际熔池熔炼研讨会论文集 (Proceedings of the Savard/Lee International Symposium on Bath smelting, Minerals, Metal & materials Society, 1992), 83-101 页。

Queneau 或 Queneau-schuhmann 的连续炼钢方法在本质上与所谓“QSL”生产有色金属例如铅和镍的方法是相似的。参见例如美国专利 Nos. 3,941,587、3,988,148 和 4,085,923 及上面提到的 Journal of Metals 的论文。后者公开了从氧化铁矿直接且连续炼钢的密闭反应器。QSL 反应器是一个密闭系统,它能限制大气和气态反应产品的进出。

WORCRA 方法及类似方法、例如 Rudziki 等在平炉论文集 (Open Hearth Proceedings), 1969, 48-56 页描述的方法,以顶吹氧气或顶低复合吹氧来燃烧熔体上面产生的 CO 而为反应提供附加的热量。Rudziki 的方法用于碳饱和的液态生铁的脱碳。

在由 A. Berthet 等在钢铁科学技术国际会议 (International Conference of Science and technology of Iron and steel) 东京, 1970 年 9 月第 60 页及以后所描述的所谓“IRSID”方法中,热金属例如

生铁连续装入反应器中，在该反应器中氧气被顶吹至金属熔池上而导致熔渣/金属/气体乳状液的生成，从而达到金属的快速精炼。精炼后的钢随后移到分离槽（decanter vessel）进行熔渣/金属的分离和放出。进料金属中的碳含量为 4-5%，并且从反应器的入口到出口没有碳含量的梯度变化。这种方法在法国专利 2,244,822 中也有描述。

盖氏（Geiger）美国专利 5,139,568 公开了一种接受固态矿物原料的反应容器。矿物原料进入金属熔池中，该熔池包括较重的铁碳合金或金属层和较轻的熔渣上层（6 栏 35-37 行）。氧气通过浸入液面的喷嘴喷入熔融金属并与碳化铁中的碳进行反应生成一氧化碳。一氧化碳进入熔池上部的蒸汽空间（6 栏 51-55 行），在这里与喷入蒸汽空间的氧进行反应，蒸汽空间中的一氧化碳燃烧产生的热量据说可提供反应器中连续反应所需的约 100% 的热能（7 栏 11-22 行）。

在盖氏'568 专利中提到的结构中，经反应器底部喷入熔融金属的氧气量是沿反应器的长度方向而变化的（9 栏 63-68 行）。以这种方式，沿反应器长度方向形成了碳含量梯度，并且在出料端形成低碳合金供出料。若未形成碳含量梯度，则也不能在反应器的出料端形成足够低碳的铁碳合金。

另外，在盖氏'568 专利所描述的反应器中，一氧化碳反应产物进入蒸汽空间，氧气也被喷入蒸汽空间以与一氧化碳燃烧。'568 专利表明一氧化碳的燃烧随喷入蒸汽空间的氧气而发生。来源于熔池的氧气对于一氧化碳的燃烧是一种“高度不可能”的氧源。大量的一氧化碳和氧必须在蒸汽空间反应以产生足够热量而使反应过程自行持续或自动生热。因此，所有或基本上所有的一氧化碳反应产物必须进入蒸汽空间并在那里燃烧以产生足够的热能，从而进一步推动反应并使反应过程自行持续或自动生热。

尽管盖氏反应的总体热平衡对于其目的而言基本上是正确的，但是采用单一容器和伴随的对碳浓度梯度的需求而产生的问题在于热平衡并未反映出在该方法中何处存在能量不足和能量过剩、以及如何控制并回收一氧化碳燃烧为二氧化碳造成的热量释放——这是在反应器中所需位置处达到能量供给所必需的。

盖氏'568 专利认为：为了连续操作这样一种单个反应器以达到所需的低含碳量，碳浓度梯度必须从碳化铁装料端保持到反应器的放出端。

该专利表明，为了使反应过程自动生热，氧气必须被引入反应器的蒸汽空间以燃烧金属熔池中产生的 CO，从而产生热量和 CO₂。这样产生的热量被视为基本上传递到金属熔池中，且这是保持自生热过程的必要条件。但是公开内容显示出严重的缺陷。在反应器的碳化铁装料端，主要的化学反应具有吸热性，因而为了使反应继续下去是需要外来热量的。在同样的区域，气体析出量（gas evolution volume）较高，导致金属熔池中紊流扩散的高速率，这将形成一个充分混合的反应区域。在反应器的剩余部分，主要的化学反应是放热的（脱碳）并且伴随着产生了可在燃烧成二氧化碳时提供高能燃料的一氧化碳。由于盖氏反应器的长形几何形状，大量的一氧化碳被释放进入蒸气空间中并不接近能量缺乏区域的位置，而碳化铁被装入反应器中的所述能量缺乏区域。因此，在远离碳化铁装入区域的位置处通过燃烧一氧化碳所释放能量的大部分都不能达到这一区域，因为在这一区域和反应器剩余表面之间的热辐射传导率是低的。（在热传导技术中采用热辐射传导率来表征表面之间以及气体与表面之间热辐射传导效率。）因此，从在缺乏能量的碳化铁装入区中利用大部分一氧化碳能量的观点来看，在盖氏公开的方法中不可能达到热的自生。盖氏专利的另一个问题是就来源于在反应器碳化铁装入区直接生成的一氧化碳燃烧热量的利用率而言的。因为在盖氏方法中，所有这些一氧化碳都是在反应器的蒸气空间内燃烧的，燃烧释放的热量趋向于向熔池表面和形成蒸气空间的反应器圆顶耐火墙同样顺利传导。以这种方式，反应器圆顶耐火墙会非常热，在实际中需要水冷。但是因为圆顶墙比熔池表面拥有更多的表面积，所以在反应器的圆顶墙会出现显著的热损失。这样，从直接产生的一氧化碳的燃烧而产生的到达熔池的能量将只是所产生总能量的一部分。这一额外因素将进一步说明盖氏专利中描述的方法无法使反应自热。

Sohn 等在矿物、金属和材料协会的 Savard/Lee 国际熔池熔炼研讨会论文集（Proceedings of the savard/Lee International Symposium on Bath Smelting, Minerals, Metals & Materials society）1992 年 377-412 页中 提供了关于底吹连续精炼反应器的尺寸之间关系的信息，以使返混作用最小。

本发明的目的是提供对如上述 Stephens 专利提及的在炼钢炉中由碳化铁炼钢方法的改进。与 Stephens、Kalling、Queneau 和 Geiger 专利提及的单步骤反应器不同，本发明提供了一种将碳化铁转化成铁碳合金的两步骤方法。本发明的方法利用两个独立而又紧密联系的反

5 应器。

在本发明一个实施方案的第一阶段，可能含有一些残余氧化铁的已加热的碳化铁和造渣材料一起被装入第一反应器的熔池。熔化的和溶解的碳化铁在熔池中形成一层较低的熔融金属层。在熔池中熔融金属的上面形成了一层单独的泡沫熔渣层。泡沫熔渣的特征在于，它是比较厚的一层气状液体或泡沫。

10 氧气优选地通过设置在反应器底部的几个浸入式氧气风口而被注入金属熔池。与盖氏'568 专利描述的沿单一反应器的长度方向形成的碳含量梯度不同的是，注入的气体与一氧化碳气体反应产物一起提供了高搅拌能量以在本发明的第一阶段反应器中获得充分混合的、无梯度的熔池。充分混匀的反应也受到容器几何形状的促进（例如金属熔池的宽高度之比）。为产生泡沫熔渣所需的搅拌动作防止了在熔池中形成碳梯度。

在第一个反应器中，至少一股氧气流被引入泡沫熔渣以燃烧一氧化碳，所述一氧化碳是在金属熔池中产生的并且已进入和产生了泡沫熔渣。在熔池中产生的一氧化碳优选至少 70%、更优选至少 90%、最优选尽可能接近 100% 在泡沫熔渣中燃烧。通过在泡沫熔渣中燃烧一氧化碳，反应所产生的大部分热量得以保留在泡沫熔渣中并直接传递回金属熔池中。不同于盖氏'568 专利的反应器，第一阶段反应并不包括将氧气注入反应器的蒸气空间，而是旨在阻止一氧化碳进入蒸气空间而燃烧。然而，在发明的另一实施例中，氧气可以被顶吹到第一阶段反应器的液态金属熔池上以助于液态金属的脱碳。

25 第一阶段反应器内产生的铁碳合金含有例如大约 0.5-2% 的碳，随后用作第二阶段反应器的熔态原料。氧气通过第二阶段反应器底部的浸入式风口注入金属熔池。第二阶段反应器中的反应是放热的，并且第二阶段反应器的反应产物，即一氧化碳和二氧化碳的混合物被收集、冷却、处理，然后返回到第一阶段反应器，在第一阶段反应器中被优选注入泡沫熔渣层；一氧化碳在此与注入的氧气燃烧，这与在第一反应器的金属

熔池中产生的一氧化碳的燃烧相似，以促进从熔渣到金属熔池良好的热量传递。（在本发明的一个实施方案中，氧气也可以注入第二阶段反应器的蒸气空间，以燃烧掉一部分一氧化碳，以提供保持所期望熔池温度所需的任何额外热量。）从而双反应器系统可保证基本上是自热的。第二阶段反应器的产物是碳含量例如大约为 0.01-0.5% 的铁碳合金（钢）。

附图简述

图 1 是本发明的炼钢设备的立体图。

图 2 是铁碳系统的温度—成分图，表示对应于本发明中间产物铁碳合金的温度和组成的液相区的铁碳合金的范围。

图 3 是第二阶段反应器的一部分的速度断面，表示在液面下风口区域的高金属熔池速度。

图 4 是本发明第一阶段反应器的平面图。

图 5 是沿图 4AA 线的第一阶段反应器的侧视图。

图 6 是沿图 4BB 线的第一阶段反应器的端视图。

图 7A 是本发明第二阶段反应器的纵向剖面图。

图 7B 是本发明第二阶段反应器的截面平面图，以及

图 8 是第二阶段反应器中金属驻留时间和反应器中氧气风口数量的关系图。

优选实施方案描述

在图 1 中，数字 1 总体表示有耐火衬的、长型的第一反应器，它有装料端 2 和出料端 3。具有例如 91%Fe₃C、5%Fe₃O₄、3%SiO₂ 和 1%Fe 组成的碳化铁装入料，在预热器 6 中加热到预热温度例如 550℃ 后，通过管道 4 装入，并被氮或 CO₂ 的气流 5 直接带入包含在第一反应器中的熔融金属 9 中，在第一反应器中碳化铁的熔化和溶解极大地推动了该反应器中充分混匀的反应。造渣材料例如石灰石，通过适合的设备在 7 被装入，可任选地在 8 装入废钢。金属熔池 9 被保持在反应器 1 中并且被泡沫熔渣层 11 覆盖。燃烧器 12 安装在反应器 1 的装料端附近，并通过管道 13 吹入氧气，通过管道 14 吹入诸如天然气之类的烃类燃料等燃料。如果需要的话，燃烧器 12 可用于提供额外的热能以加热或熔化废钢或者在开车时加热反应器 1（或者为了启动反应，还可以从象钢包或电弧炉一类的外部源引入液态金属。）脱碳剂氧通过集气管 16 吹入多个风口 17，风口被例如烃气体（例如甲烷）一类吸热分解性气体，

或者被例如二氧化碳、氢气、氮气或蒸汽一类的冷却气体所屏蔽。用于脱碳的氧气风口可以安装在金属熔池管道之下或金属熔池管道之上，或者两者结合起来。全部或一部分的脱碳剂氧可以供给到熔池之上的一个或多个氧枪（未示出），以产生高速度的喷气冲击金属熔池。后燃烧氧气通过一条或多条管道 18 供入反应器壁中的氧枪，以在铁碳熔池上方在泡沫熔渣中将产生的一氧化碳燃烧成二氧化碳。后燃烧氧枪可以有多种不同的设计，例如图示的穿墙氧枪，或者是可以经反应器开口引入的可移动氧枪。燃烧器 19 被安装在反应器 1 的一个端壁上，并通过管道 21 供给氧气且通过管道 22 供给一氧化碳（含有少量的二氧化碳）。如果需要，可以通过管道 20 给燃烧器 19 供应补充燃料气体。主要含有 CO_2 和一些水蒸气及 CO （取决于后燃烧的程度）的废气通过排出口 23 在例如约 1700°C 的温度除去。在泡沫熔渣中未被燃烧的任何多余的 CO 在外部被燃烧到 $0\%\text{CO}$ ，废气在后燃烧室/热交换器 24 中被冷却到例如大约 1100°C 的温度，其中冷却水通过管道 10 引入到热交换器中并通过管道 15 引出热交换器。经部分冷却的气体通过管道 26 输入预热器 6，并从这里通过管道 27 输出到集尘室 28。净化后的富含 CO_2 的废气然后从集尘室通过管道 29 到风扇 31 和烟囱 32（或者可以收集起来用作它用或出售）。来自集尘室中的固体通过管道 33 返回到碳化铁装料管道以重新装入第一反应器。

炉渣被例如连续地从出渣口 34 排出，如图所示，渣口可以位于第一反应器的金属出口端。

第一反应器中脱渣后的铁碳产物被装入总体以数字 36 表示的有耐火衬的长型第二反应器的装料端。或者，具有中等碳含量的铁碳合金可以如在 45 处从第一阶段反应器排出并用适当的容器（未显示）收集起来。

当第一反应器的铁碳产物被装入第二反应器中时，氧气从集气管 37 供入多个气体屏蔽的浸入式风口 38，主要含有例如 80% 或更多 CO 的废气在例如大约 1630°C 的温度被收集起来，并且通过管道 39 送入间接热交换器 41，其中冷却水通过管道 25 送入该热交换器并通过管道 30 送出该热交换器。待预热的氧气通过管道 35 引入交换器 41，从这里通过管道 21 进入第一反应器 1 中的燃烧器 19。被冷却至大约 300°C 的温度并处于约 137.8Kpa (20psig) 压力的一氧化碳通过管道 22 进入燃烧

器 19。在第二反应器 36 中生成的烟尘大部分是细小的铁滴，它和气体一起进入第一反应器。如果存在较大尺寸的颗粒，则可以利用例如热旋风除尘器（未示出）将其除去。如果需要保持反应器 36 中的熔池温度，氧气也可以通过氧枪（未示出）引入以燃烧一部分一氧化碳，从而为熔池提供热量。最终的钢产物在如 42 处例如在大约 1670℃ 的温度离开反应器 36，并被收集在钢包 43 中。

在用氧气燃料燃烧器操作之前，可以在例如 40 处预热第二阶段反应器的内部，并在需要时将燃烧气体排到大气中。

在本发明中，已经以分段热平衡的观点分析了将固体碳化铁转化成液体钢的方法，并且认定这种方法必须分为两个不同的阶段，这两个阶段涉及两个如图 1 所示的上述独立但紧密联系的反应器。在第一阶段反应器中，优选经过预热的碳化铁材料与氧气和足以与和碳化铁同时进入的脉石材料形成泡沫熔渣的熔剂一起引入铁碳熔池，脉石材料主要含有一些氧化铝和硅石。碳化铁材料优选地被连续地装入，当然也可以周期性地装入，这样第一反应器中金属熔池的液面将随之上升或下降。碳化铁材料一般具有表 1 中给定范围之内的分析数据，并经细分，一般的粒度范围在 0.01 到 2mm 之间。

表 1
碳化铁材料的组成

成分	材料的重量百分比
Fe_3C	80-94
Fe_3O_4	4-15
Fe(金属的)	0-2.0
SiO_2	1-6
Al_2O_3	0.1-2.0

氧气的同时注入使得在金属熔池中将碳化铁中的碳氧化成一氧化碳，提供了热量。通过化学计量地配合碳化铁和氧气流动，熔池中碳的含量被保持在一个稳定水平。

第一反应器的产物优选的是连续的液态铁碳合金物流，它含有重量占 0.5-2% 的碳，特别是大约 1-2% 的碳，并且一般处于 1490℃ 的温度，但总是高于铁碳相图中的液相，如图 2 所示的 A 区域。这种物流是第二

阶段反应器的输入物。

在第二阶段反应器中，液态金属的碳含量降至要制备的钢产品中所期望的碳含量，例如从 0.01% 到 0.5% 的碳。这是通过将氧气优选地注入金属液面以下，同时放热产生 CO—CO₂ 混合气体而实现的。这样可在大约 1670℃ 的温度出钢。

第二阶段反应器中金属熔池的轴向或纵向回混被尽可能减小，第二阶段反应的碳梯度由一些权宜因素提供。首先，容器长度比另外两个尺寸要大得多以产生活塞式流动。其次，从熔融金属中脱碳所需的氧气基本上通过以一定间隔、例如均匀地沿着反应器的长度隔开的底风口供入。注入的气体诱导在其上的熔融金属的垂流流动，这还起到阻止轴向回混的作用。第三，池的深、宽度与氧风口间隔之间关系被建立起来，以进一步减小回混。第四，第二阶段反应器的产量足够高使得金属熔池具有足够的向前流向炉子出口的力以减少任何旋流和回流趋势。第二阶段反应方法设计为每小时约 50-150 或 200 吨液态钢产出。对于较低的产出吨位，可能会遇到与回混、较高的热损失等等相关的操作问题。

在第二阶段反应器中另一个潜在的问题是气体“吹透”现象，即熔池深度不足以防止一些注入的气体穿过未经反应的熔融金属进入位于金属熔池上方的气体中。本发明提供的熔池深度足以解决这一问题。

第二阶段反应器的 CO 以与钢相同的温度、例如大约 1670℃ 离开容器，并在作为燃料引入第一阶段反应器之前进行收集和净化，然后与氧一起在第一阶段反应器容器的泡沫熔渣中燃烧生成 CO₂。在第二阶段反应器产生的大部分还原气体 CO 是在反应器上游产生的。因此，排气口优选设置在反应器金属出口端附近，以便于在整个熔池上方提供还原气氛。来自第 2 阶段的 CO 在第 1 阶段反应器中燃烧，并且本发明使得在泡沫熔渣中进行这种燃烧，即可使得第一阶段（及双反应器系统）的能量平衡基本上是自热的，无需要额外的燃料，例如，碳化材料可在注入前被加热到 550℃，加热可以利用来自第一阶段的废气显热完成。如果碳化物没有被高度转化，并例如含有 15% 的磁铁矿，这将导致第一阶段的反应不能完全自热进行。在这种情况下，或者在少量冷废钢被加到第一阶段反应器中时，一些额外能量的输入是需要的，例如以天然气、石油或煤的形式在容器中燃烧以弥补能量的不足。这些所需的额外能量的总量并不足以导致第一阶段反应器结构的显著变化。

表 2、3、4、5 中给出在不同条件下, 第一阶段熔渣中后燃烧程度为 0.7 时的分段热平衡的实例. 后燃烧程度是指形成的或注入第一阶段容器中的总 CO 中在熔渣中转化为 CO_2 的 CO 的份额. 表 6-9 与表 2—5 的条件相同, 但是第一阶段熔渣中的后燃烧程度为 0.9.

表 2

A		B
熔化条件		
	碳化物中的 Fe_3O_4 %	5
10	铁碳中间产物中的 C %	1.5
	废钢 %	0.0
	后燃烧程度 ⁽¹⁾	0.7
	吨钢/小时	50
	钢中 C 百分比	0.05
15	出钢温度, $^{\circ}\text{C}$	1630.00
	废钢温度, $^{\circ}\text{C}$	25
	碳化物温度, $^{\circ}\text{C}$	550
结果		
20	阶段 2	
	钢重 Kg/hr	50000
	铁碳中间产物重 Kg/小时	51248.53
	铁碳合金流量 m^3 /小时	7.11
	烟尘 (铁) 重 2 Kg/小时	504.80
25	CO 重, 2 Kg/小时	1388.29
	CO ₂ 重, 2 Kg/小时	545.40
	CO 体积, 2 Nm^3 /小时	1110.63
	CO ₂ 体积, 2 Nm^3 /小时	277.66
	出钢温度下的 CO 体积, 2 m^3 /小时	7741.89
30	出钢温度下的 CO ₂ 体积, 2 m^3 /小时	1935.47
	气体中间产物的总体积 m^3 /小时	9677.36
	O ₂ 重, 2 Kg/小时	1189.96

	阶段 1	
	CaO 重, 1 Kg/小时	3426.03
	废钢重, 1 Kg/小时	0.00
	碳化物重, 1 Kg/小时	57100.09
5	渣重 Kg/小时	5525.86
	CO 重, 1 Kg/小时	2351.73
	CO ₂ 重, 1 Kg/小时	9168.39
	烟尘 (铁) 重 Kg/小时	1113.75
	O ₂ 重, 1, 脱碳 Kg/小时	3165.94
10	O ₂ 重, 1, PC, Kg/小时	3186.11
	O ₂ 重, 燃料供给, Kg/小时	1515.01
	CH ₄ 重, Kg/小时	378.75
	H ₂ O 重 Kg/小时, out	852.19
	CO ₂ 重, 燃料供给 Kg/小时	1041.57
15	阶段 2 剩余能量	3.636 × 10 ⁶ KJ/小时 (909 千卡/小时)
	阶段 1 剩余能量	-1.27 × 10 ¹⁰ KJ/小时 (-3172942 千卡/小时)
20	补充燃料能量	1.27 × 10 ¹⁰ KJ/小时 (3172942 千卡/小时)
	合计	
	合计 O ₂ Nm ³ /吨	141.71
25	合计烟尘 Kg/吨	20.25
	合计炉渣 Kg/吨	111.34
	合计熔剂 Kg/吨	69.03
	合计 CH ₄ Nm ³ /吨	24.80
	合计碳化物, Kg/吨	1150.51
30	合计废钢, Kg/吨	0.00

(1) 后燃烧程度是 CO₂ 与 (CO + CO₂) 的比率或者是 (CO₂ + H₂O) 与 (CO + CO₂ + H₂ + H₂O) 的比率。

表 3

A		B
<u>熔化条件</u>		
	碳化物中的 Fe_3O_4 %	10
5	铁碳中间产物中的 C %	1.5
	废钢 %	0.0
	在渣中的后燃烧程度	0.7
	吨钢/小时	50
	钢中 C 百分比	0.05
10	出钢温度, $^{\circ}\text{C}$	1630.
	废钢温度, $^{\circ}\text{C}$	25
	碳化物温度, $^{\circ}\text{C}$	550
<u>结果</u>		
15	阶段 2	
	钢重 Kg/小时	50000.00
	铁碳中间产物重 Kg/小时	51248.53
	铁碳合金流量 $\text{m}^3/\text{小时}$	7.11
	烟尘 (铁) 重, 2, Kg/小时	504.80
20	CO 重, 2, Kg/小时	1388.29
	CO ₂ 重, 2, Kg/小时	545.40
	CO 体积, 2, $\text{Nm}^3/\text{小时}$	1110.63
	CO ₂ 体积, 2, $\text{Nm}^3/\text{小时}$	277.66
	出钢温度下的 CO 体积, 2, $\text{m}^3/\text{小时}$	7741.89
25	出钢温度下的 CO ₂ 体积, 2, $\text{m}^3/\text{小时}$	1935.47
	气体中间产物的总体积 $\text{m}^3/\text{小时}$	9677.36
	O ₂ 重, 2 Kg/小时	1189.96
<u>阶段 1</u>		
30	CaO 重, 1 Kg/小时	3451.54
	废钢重, 1 Kg/小时	0.00
	碳化物重, Kg/小时	57525.25
	渣重 Kg/小时	5567.01
	CO 重, 1 Kg/小时	2233.23
35	CO ₂ 重, 1 Kg/小时	8733.92

	烟尘 (铁) 重	Kg/小时	1113.77
	O ₂ 重, 1, 脱碳	Kg/小时	2360.73
	O ₂ 重, 1, PC,	Kg/小时	3028.12
	O ₂ 重, 燃料供给,	Kg/小时	3543.50
5	CH ₄ 重,	Kg/小时	885.88
	H ₂ O 重	Kg/小时, out	1993.22
	CO ₂ 重, 燃料供给	Kg/小时	2436.16
10	阶段 2 剩余能量		3.636 × 10 ⁶ KJ/小时 (909 千卡/小时)
	阶段 1 剩余能量		-2.97 × 10 ¹⁰ KJ/小时 (-7421287 千卡/小时)
	补充燃料能量		2.97 × 10 ¹⁰ KJ/小时 (7421287 千卡/小时)
15	合计		
	合计 O ₂	Nm ³ /吨	141.71
	合计烟尘	Kg/吨	20.25
	合计炉渣	Kg/吨	111.34
20	合计熔剂	Kg/吨	69.03
	合计 CH ₄	Nm ³ /吨	24.80
	合计碳化物,	Kg/吨	1150.51
	合计废钢,	Kg/吨	0.00

表 4

A		B
<u>熔化条件</u>		
5	碳化物中的 Fe_3O_4 %	10
	铁碳中间产物中的 C %	1.5
	废钢 %	0.0
	后燃烧程度	0.7
	吨钢/小时	50
10	钢中 C 百分比	0.05
	出钢温度, $^{\circ}\text{C}$	1630
	废钢温度, $^{\circ}\text{C}$	25
	碳化物温度, $^{\circ}\text{C}$	25
15	<u>结果</u>	
	阶段 2	
	钢重 Kg/小时	50000.00
	铁碳中间产物重 Kg/小时	51248.53
	铁碳合金流量 $\text{m}^3/\text{小时}$	7.11
20	烟尘 (铁) 重 2, Kg/小时	504.80
	CO 重, 2 Kg/小时	1388.29
	CO ₂ 重, 2 Kg/小时	545.40
	CO 体积, 2 $\text{Nm}^3/\text{小时}$	1110.63
	CO ₂ 体积, 2 $\text{Nm}^3/\text{小时}$	277.66
25	出钢温度下的 CO 体积, 2, $\text{m}^3/\text{小时}$	7741.89
	出钢温度下的 CO ₂ 体积, 2, $\text{m}^3/\text{小时}$	1935.47
	气体中间产物的总体积 $\text{m}^3/\text{小时}$	9677.36
	O ₂ 重, 2 Kg/小时	1189.96
30	阶段 1	
	CaO 重, 1 Kg/小时	3451.54
	废钢重, 1 Kg/小时	0.00
	碳化物重, Kg/小时	57525.25
	渣重 Kg/小时	5567.01
35	CO 重, 1 Kg/小时	2233.23

	CO ₂ 重, 1	Kg/小时	8733.92
	烟尘(铁)重	Kg/小时	1113.77
	O ₂ 重, 1, 脱碳	Kg/小时	2360.73
	WO ₂ , 1, PC,	Kg/小时	3028.12
5	O ₂ 重, 燃料供给,	Kg/小时	5892.30
	CH ₄ 重,	Kg/小时	1473.08
	H ₂ O重	Kg/小时, out	3314.42
	CO ₂ 重, 燃料供给	Kg/小时	4050.96
	阶段2 剩余能量		3.636×10^6 KJ/小时 (909 千卡/小时)
10	阶段1 剩余能量		-4.94×10^{10} KJ/小时 (-12340464 千卡/小时)
	补充燃料能量		4.94×10^{10} KJ/小时 (12340464 千卡/小时)
15	合计		
	合计 O ₂	Nm ³ /吨	174.60
	合计烟尘	Kg/吨	22.25
	合计炉渣	Kg/吨	111.34
20	合计熔剂	Kg/吨	69.03
	合计 CH ₄	Nm ³ /吨	41.25
	合计碳化物,	Kg/吨	1150.51
	合计废钢,	Kg/吨	0.00

表 5

A		B
<u>熔化条件</u>		
5	碳化物中的 Fe_3O_4 %	5
	铁碳中间产物中的 C %	1.5
	废钢 %	10.0
	后燃烧程度	0.7
	吨钢/小时	50
10	钢中 C 百分比	0.05
	出钢温度, $^{\circ}\text{C}$	1630
	废钢温度, $^{\circ}\text{C}$	25
	碳化物温度, $^{\circ}\text{C}$	550
15	结果	
	阶段 2	
	钢重 Kg/小时	50000.00
	铁碳中间产物重 Kg/小时	51248.53
	铁碳合金流量 $\text{m}^3/\text{小时}$	7.11
20	烟尘(铁)重, 2, Kg/小时	504.80
	CO 重, 2 Kg/小时	1388.29
	CO ₂ 重, 2 Kg/小时	545.40
	CO 体积, 2 $\text{Nm}^3/\text{小时}$	1110.63
	CO ₂ 体积, 2 $\text{Nm}^3/\text{小时}$	277.66
25	出钢温度下的 CO 体积, 2 $\text{m}^3/\text{小时}$	7741.89
	出钢温度下的 CO ₂ 体积, 2 $\text{m}^3/\text{小时}$	1935.47
	气体中间产物的总体积 $\text{m}^3/\text{小时}$	9677.36
	O ₂ 重, 2 Kg/小时	1189.96
30	阶段 1	
	CaO 重, 1 Kg/小时	3080.37
	废钢重, 1 Kg/小时	5133.00
	碳化物重, Kg/小时	51338.95
	渣重 Kg/小时	4968.33
35	CO 重, 1 Kg/小时	2104.62

	CO ₂ 重, 1	Kg/小时	8262.34
	烟尘 (铁) 重	Kg/小时	1001.37
	O ₂ 重, 1, 脱碳	Kg/小时	2742.65
	O ₂ 重, 1, PC,	Kg/小时	2856.64
5	O ₂ 重, 燃料供给,	Kg/小时	2336.66
	CH ₄ 重,	Kg/小时	584.16
	H ₂ O 重	Kg/小时 , out	1314.37
	CO ₂ 重, 燃料供给	Kg/小时 , out	1606.45
	阶段 2 剩余能量		$3.636 \times 10^6 \text{KJ/小时}$ (909 千卡/小时)
10	阶段 1 剩余能量		$-1.96 \times 10^{10} \text{KJ/小时}$ (-4893745 千卡/小时)
	补充燃料能量		$1.96 \times 10^{10} \text{KJ/小时}$ (4893745 千卡/小时)
15	合计		
	合计 O ₂	Nm ³ /吨	127.76
	合计烟尘	Kg/吨	18.21
	合计炉渣	Kg/吨	99.37
20	合计熔剂	Kg/吨	61.61
	合计 CH ₄	Nm ³ /吨	16.36
	合计碳化物,	Kg/吨	1026.78
	合计废钢,	Kg/吨	102.66

表 6

A		B
<u>熔化条件</u>		
5	碳化物中的 Fe_3O_4 %	5
	铁碳中间产物中的 C %	1.5
	废钢 %	0.0
	后燃烧程度	0.9
	吨钢/小时	50
10	钢中 C 百分比	0.05
	出钢温度, $^{\circ}\text{C}$	1630
	废钢温度, $^{\circ}\text{C}$	25
	碳化物温度, $^{\circ}\text{C}$	550
15	结果	
	阶段 2	
	钢重 Kg/小时	50000.00
	铁碳中间产物重 Kg/小时	51248.53
	铁碳合金流量 $\text{m}^3/\text{小时}$	7.11
20	烟尘(铁)重, 2, Kg/小时	504.80
	CO 重, 2 Kg/小时	1388.29
	CO ₂ 重, 2 Kg/小时	545.40
	CO 体积, 2 $\text{Nm}^3/\text{小时}$	1110.63
	CO ₂ 体积, 2 $\text{Nm}^3/\text{小时}$	277.66
25	出钢温度下的 CO 体积, 2 $\text{m}^3/\text{小时}$	7741.89
	出钢温度下的 CO ₂ 体积, 2 $\text{m}^3/\text{小时}$	1935.47
	气体中间产物的总体积 $\text{m}^3/\text{小时}$	9677.36
	O ₂ 重, 2 Kg/小时	1189.96
30	阶段 1	
	CaO 重, 1 Kg/小时	3426.03
	废钢重, 1 Kg/小时	0.00
	碳化物重, Kg/小时	57100.09
	渣重 Kg/小时	5525.86
35	CO 重, 1 Kg/小时	783.91

	CO ₂ 重, 1	Kg/小时	11632.11
	烟尘 (铁) 重	Kg/小时	1113.75
	O ₂ 重, 1, 脱碳	Kg/小时	3165.94
	O ₂ 重, 1, PC,	Kg/小时	4082.01
5	O ₂ 重, 燃料供给,	Kg/小时	0.00
	CH ₄ 重,	Kg/小时	0.00
	H ₂ O 重	Kg/小时, out	0.00
	CO ₂ 重, 燃料供给	Kg/小时	0.00
	阶段 2 剩余能量		3.636×10^6 KJ/小时 (909 千卡/小时)
10	阶段 1 剩余能量		4.53×10^8 KJ/小时 (113345 千卡/小时)
	补充燃料能量		
	千卡/小时		0
15	合计		
	合计 O ₂	Nm ³ /吨	118.13
	合计烟尘	Kg/吨	20.25
	合计炉渣	Kg/吨	110.52
20	合计熔剂	Kg/吨	68.52
	合计 CH ₄	Nm ³ /吨	0.00
	合计碳化物,	Kg/吨	1142.00
	合计废钢,	Kg/吨	0.00

表 7

A		B
<u>熔化条件</u>		
5	碳化物中的 Fe_3O_4 %	10
	铁碳中间产物中的 C %	1.5
	废钢 %	0
	后燃烧程度	0.9
	吨钢/小时	50
10	钢中 C 百分比	0.05
	出钢温度, $^{\circ}\text{C}$	1630
	废钢温度, $^{\circ}\text{C}$	25
	碳化物温度, $^{\circ}\text{C}$	550
15	结果	
	阶段 2	
	钢重 Kg/小时	50000.00
	铁碳中间产物重 Kg/小时	51248.53
	铁碳合金流量 $\text{m}^3/\text{小时}$	7.11
20	烟尘 (铁) 重 2, Kg/小时	504.80
	CO 重, 2 Kg/小时	1388.29
	CO ₂ 重, 2 Kg/小时	545.40
	CO 体积, 2 $\text{Nm}^3/\text{小时}$	1110.63
	CO ₂ 体积, 2 $\text{Nm}^3/\text{小时}$	277.66
25	出钢温度下的 CO 体积, 2 $\text{m}^3/\text{小时}$	7741.89
	出钢温度下的 CO ₂ 体积, 2 $\text{m}^3/\text{小时}$	1935.47
	气体中间产物的总体积 $\text{m}^3/\text{小时}$	9677.36
	O ₂ 重, 2 Kg/小时	1189.96
30	阶段 1	
	CaO 重, 1 Kg/小时	3451.54
	废钢重, 1 Kg/小时	0.00
	碳化物重, Kg/小时	57525.25
	渣重 Kg/小时	5567.01
35	CO 重, 1 Kg/小时	744.41

	CO ₂ 重, 1	Kg/小时	11073.49
	烟尘 (铁) 重	Kg/小时	1113.77
	O ₂ 重, 1, 脱碳	Kg/小时	2360.73
	O ₂ 重, 1, PC,	Kg/小时	3878.88
5	O ₂ 重, 燃料供给,	Kg/小时	2053.44
	CH ₄ 重,	Kg/小时	513.36
	H ₂ O 重	Kg/小时, out	1155.06
	CO ₂ 重, 燃料供给	Kg/小时	1411.74
	阶段 2 剩余能量		3.636×10^6 KJ/小时 (909 千卡/小时)
10	阶段 1 剩余能量		-1.72×10^{10} KJ/小时 (-4300583 千卡/小时)
	补充燃料能量		1.72×10^{10} KJ/小时 (4300583 千卡/小时)
15	合计		
	合计 O ₂	Nm ³ /吨	132.76
	合计烟尘	Kg/吨	20.25
	合计炉渣	Kg/吨	111.34
20	合计熔剂	Kg/吨	69.03
	合计 CH ₄	Nm ³ /吨	14.37
	合计碳化物,	Kg/吨	1150.51
	合计废钢,	Kg/吨	0.00

表 8

A		B
熔化条件		
5	碳化物中的 Fe_3O_4 %	10
	铁碳中间产物中的 C %	1.5
	废钢 %	0
	后燃烧程度	0.9
	吨钢/小时	50
10	钢中 C 百分比	0.05
	出钢温度, $^{\circ}\text{C}$	1630
	废钢温度, $^{\circ}\text{C}$	25
	碳化物温度, $^{\circ}\text{C}$	25
15	结果	
	阶段 2	
	钢重 Kg/小时	50000.00
	铁碳中间产物重 Kg/小时	51248.53
	铁碳合金流量 $\text{m}^3/\text{小时}$	7.11
20	烟尘 (铁) 重 2, Kg/小时	504.80
	CO 重, 2 Kg/小时	1388.29
	CO ₂ 重, 2 Kg/小时	545.40
	CO 体积, 2 $\text{Nm}^3/\text{小时}$	1110.63
	CO ₂ 体积, 2 $\text{Nm}^3/\text{小时}$	277.66
25	出钢温度下的 CO 体积, 2 $\text{m}^3/\text{小时}$	7741.89
	出钢温度下的 CO ₂ 体积, 2 $\text{m}^3/\text{小时}$	1935.47
	气体中间产物的总体积 $\text{m}^3/\text{小时}$	9677.36
	O ₂ 重, 2 kg/小时	1189.96
30	阶段 1	
	CaO 重, 1 Kg/小时	3451.54
	废钢重, 1 Kg/小时	0.00
	碳化物重, Kg/小时	57525.25
	渣重 Kg/小时	5567.01
35	CO 重, 1 Kg/小时	744.41

	CO ₂ 重, 1	Kg/小时	11073.49
	烟尘(铁)重	Kg/小时	1113.77
	O ₂ 重, 1, 脱碳	Kg/小时	2360.73
	O ₂ 重, 1, PC,	Kg/小时	3878.88
5	O ₂ 重, 燃料供给,	Kg/小时	4402.24
	CH ₄ 重,	Kg/小时	1100.56
	H ₂ O重	Kg/小时, out	2476.26
	CO ₂ 重, 燃料供给	Kg/小时	3026.54
	阶段2 剩余能量		3.636×10^8 KJ/小时 (909 千卡/小时)
10	阶段1 剩余能量		-3.69×10^{10} KJ/小时 (-9219759 千卡/小时)
	补充燃料能量		3.69×10^{10} KJ/小时 (9219759 千卡/小时)
15	合计		
	合计 O ₂	Nm ³ /吨	165.65
	合计烟尘	Kg/吨	20.25
	合计炉渣	Kg/吨	111.34
20	合计熔剂	Kg/吨	69.03
	合计 CH ₄	Nm ³ /吨	30.82
	合计碳化物,	Kg/吨	1150.51
	合计废钢,	Kg/吨	0.00

表 9

A		B
<u>熔化条件</u>		
5	碳化物中的 Fe_3O_4 %	10
	铁碳中间产物中的 C %	1.5
	废钢 %	10.0
	后燃烧程度	0.9
	吨钢/小时	50
10	钢中 C 百分比	0.05
	出钢温度, $^{\circ}\text{C}$	1630
	废钢温度, $^{\circ}\text{C}$	25
	碳化物温度, $^{\circ}\text{C}$	500
15	结果	
	阶段 2	
	钢重 Kg/小时	50000.00
	铁碳中间产物重 Kg/小时	51248.53
	铁碳合金流量 $\text{m}^3/\text{小时}$	7.11
20	烟尘(铁)重 2, Kg/小时	504.80
	CO 重, 2 Kg/小时	1388.29
	CO ₂ 重, 2 Kg/小时	545.40
	CO 体积, 2 $\text{Nm}^3/\text{小时}$	1110.63
	CO ₂ 体积, 2 $\text{Nm}^3/\text{小时}$	277.66
25	出钢温度下的 CO 体积, 2 $\text{m}^3/\text{小时}$	7741.89
	出钢温度下的 CO ₂ 体积, 2 $\text{m}^3/\text{小时}$	1935.47
	气体中间产物的总体积 $\text{m}^3/\text{小时}$	9677.36
	O ₂ 重, 2 Kg/小时	1189.96
30	阶段 1	
	CaO 重, 1 Kg/小时	3100.93
	废钢重, 1 Kg/小时	5168.00
	碳化物重, Kg/小时	51681.64
	渣重 Kg/小时	5001.49
35	CO 重, 1 Kg/小时	665.49

	CO ₂ 重, 1	Kg/小时	9957.37
	烟尘 (铁) 重	Kg/小时	1000.63
	O ₂ 重, 1, 脱碳	Kg/小时	2016.36
	O ₂ 重, 1, PC,	Kg/小时	3473.01
5	O ₂ 重, 燃料供给,	Kg/小时	2832.59
	CH ₄ 重,	Kg/小时	708.15
	H ₂ O 重	Kg/小时, out	1593.33
	CO ₂ 重, 燃料供给	Kg/小时	1947.41
	阶段 2 剩余能量		3.636×10^6 KJ/小时 (909 千卡/小时)
10	阶段 1 剩余能量		-2.37×10^{10} KJ/小时 (-5932397 千卡/小时)
	补充燃料能量		2.37×10^{10} KJ/小时 (5932397 千卡/小时)
15	合计		
	合计 O ₂	Nm ³ /吨	133.17
	合计烟尘	Kg/吨	18.19
	合计炉渣	Kg/吨	100.03
20	合计熔剂	Kg/吨	62.02
	合计 CH ₄	Nm ³ /吨	19.83
	合计碳化物,	Kg/吨	1033.63
	合计废钢,	Kg/吨	103.36

25 表 2-9 中的计算所用的热损失是依据具有耐火衬的相似体积容器的经验。

碳化物材料的预热是利用第一阶段反应器中完全燃烧后的废气在间接加热的热交换器 6 中完成的、例如一个包括分别对流携带加热气体和碳化物的平行槽缝 (slot) 的热交换器。碳化物散料垂直通过槽缝而被流经相邻槽缝的热气体预热。碳化材料散料的导热性可保证 2000kg/分钟, 能够在体积大约为 $1.5 \times 2 \times 5$ 米的热交换器中预热。

第一阶段利用在第一和第二阶段产生的 CO 燃烧热量的主要问题是从气相到金属熔池的能量传导速度。从氧气顶吹转炉 (直立的、可倾动的、通常是圆柱形的转炉) 的结论显而易见, 在这类炉子的金属熔池里

从 CO 到 CO₂ 完全燃烧的潜在化学能一般只有大约 11% 被回收，这是由于废气向上流动、水冷罩的散热效应以及金属-熔渣乳液与气体的紧密结触，在这一过程绝大部分内该乳液的碳含量高（大于 0.2%C），从而在鼓风循环的整个过程中不允许任何 CO₂ 在金属-熔渣乳液附近存在。这使一般的氧气顶吹转炉，如果不是不可能的话，也是难于在炉中由大量的碳化铁装料完成自热工序。在电弧炉中，从金属熔池中生成的 CO 的后燃烧可发生，但是由于池的横截面积很大，所以用燃烧金属熔池中产生的 CO 所需的氧气难渗透到电炉的中心或对侧，而且也难于完全利用 CO 氧化成 CO₂ 而得到的潜在化学能。较大的熔池面积也使得难于提供一个在其中完成后燃烧的深泡沫熔渣层。另外，电炉的侧壁和顶壁是水冷的，这将很快地从炉中吸收能量。从而，从热传导效率而言，无论是氧气顶吹转炉还是电炉都不是最优的。

用其它形式的炉子可以获得较高的热传导效率，从铁矿的熔炼还原过程所获得的数据也证实了这一点，象 DIOS 和 HIsmelt。这些熔炼过程包括必须经后燃烧在熔炼炉中矿物还原和某的气化时产生的 CO 而产生能量，并包括将燃烧热传递到金属熔池和熔渣中以便提供装料加热和铁矿还原成金属铁的吸热反应所需的能量。那些数据提供了熔渣/金属熔池系统的热传导能力的一种度量。在 DIOS 系统中获得 $8 \times 10^9 \text{KJ/小时/m}^2$ (2×10^9 卡/小时/ m^2) 或更高的热流，这可从《钢铁制造者》(Iron & Steelmakers) 1990 年 12 月 17 卷 12 期 T. Ibaraki 等的论文报告的数据计算出。

在熔渣和金属之上的空间区域内，也可以实现气相燃烧的能量传导，但它并不象从熔渣到金属的能量传导一样剧烈。表 10 比较了气相中及熔渣和金属之间可能传导的能量流。

表 10
热传导需要量

结果	$10^3 \text{KJ/小时 (千卡/小时)}$
熔池中需要能量	$4.0 \times 10^7 (9943494)$
渣中可得到的能量	
无补充能量	$- 3.45 \times 10^7 (-8634903)$
有补充能量	$- 3.87 \times 10^7 (-9675074)$
来自气体的需要能量	
无补充能量	$5.23 \times 10^6 (1308591)$

	有补充能量	1.07×10^6 (268420)
	可达到的热流,	10^3KJ/小时/m^2 (千卡/小时/ m^2)
	由渣到池 (熔炼过程数据)	8×10^6 (2000000)
	由气到渣 (计算值)	6×10^5 (150154)
5	热传导所需面积, m^2	
	由渣到池	4.97
	从气到渣, 无补充能量	8.71

10 从表 10 可以看出, 从气体到熔渣的热流远低于从熔渣到熔池的热流, 这种从气体到熔渣的热传导的影响将导致需要很大的容器, 从而为获得合理体积的容器, 有必要使从后燃烧反应直接到渣相的能量释放尽可能最大。

15 正如上面提到, 第一阶段反应器的金属熔池中没有必要保持任何化学品浓度梯度。因为熔池中大量 CO 的生成以及碳化铁的熔化和溶解, 搅拌能量的强度是非常大的, 并且熔池总是被充分混合的。表 11 给出了在第一阶段反应器中典型的混合能量强度计算数值。

表 11
第一阶段反应器混合能量强度

20	Fe_3O_4 还原生成的 CO $\text{Nm}^3/\text{分钟}$	18.41
	吹入氧气生成的 CO $\text{Nm}^3/\text{分钟}$	89.63
	生成 CO 合计 $\text{Nm}^3/\text{分钟}$	108.4
	混合能量, 瓦/吨	35542
	基于 Nakanishi 等 ⁽¹⁾ 的混合时间, 秒	12
25	基于 kato 等 ⁽²⁾ 的混合时间, 秒	22
	CO 喷吹速率, $\text{Nm}^3/\text{吨} - \text{秒}$	3.

(1) 钢铁制造 (Ironmaking & Steelmaking), (1975) 3 卷, 193 页

30 (2) Kato, Y., Nakanishi, K., Saito, K., Noxaki, T., Suziki, K. and Emi, T., Tetsu-to-Hagane, 66, (1980), 11, S881

第一阶段反应器优选地以连续的方式操作, 连续地装入碳化铁、氧和燃料, 连续地出金属和炉渣 (然而, 也可以以半连续的方式操作, 初始液体料最小, 向其中连续加入碳化铁材料, 稳定地增加容器中的金属量, 直到间歇地放出。这样的操作需要深一些的容器。) 可以想到第

一阶段反应器拥有三个分区域：气体、炉渣和金属熔池。在稳态下，每一区域都有必须满足的能量平衡。对于金属熔池而言，固体碳化铁被直接喷入熔池而氧气通过浸没式风口吹入。尽管碳化铁中的碳被氧气连续地氧化成 CO，在金属相释放热能，但仍然没能释放出足够的热以提供显热及熔化和溶解碳化物的溶解热。这样，热必须从熔渣相传送至金属相。这种热必须来自通过后燃烧枪和燃烧器在熔渣相从 CO 到 CO₂ 的燃烧。燃烧器优选地燃烧从第二阶段精炼容器中回收的 CO，或利用象天然气一类的另一种燃料。熔渣的组成优选容易泡沫化并使得在泡沫熔渣中易发生燃烧，从而在熔渣相中保持燃烧热能，热能可以容易地从渣相传送到金属相。第一阶段反应器蒸气空间中的氧气受到限制，并且在泡沫熔渣中任何未燃烧的 CO 通常将在反应器外燃烧，例如在象上面解释的后燃烧室/热交换器 24 中燃烧。针对不同操作条件的分区域，已做出能量平衡的计算，并且也已计算出传导满足区间热平衡所需热能的区域之间的面积。以这些面积为基础，达到给定产出率的容器的尺寸也得到了。表 10 是这种计算的一个实例。

在第一阶段反应器中金属熔池中的碳浓度被保持在需要的水平以保证放出并向第二阶段反应器传送。第二阶段反应器是一种管道型连续精炼容器，具有一组浸入式氧风口，当金属从一个氧风口流向另一个氧风口时，铁碳合金中的碳含量优选稳定地下降。或者，第二阶段反应器也可以是一个充分混合的反应容器，氧气被连续地吹入金属熔池以在钢产品中将碳含量一直保持在希望的水平。此外，第二阶段反应器可以是半连续反应器，第一阶段产品和气态氧稳态装入该反应器，但并不放出直到重量和碳含量等于所希望的钢批量和组成。在所有三种情况下，CO 都被收集起来而未被空气稀释以在第一阶段用作燃料。

第二阶段放热反应是自热的，不必提供燃料，如果例如 (1) 从第一阶段进入的铁碳液体中的碳含量大约为 1.35%，进入温度大约为 1520 °C，而最终钢的碳含量为约 0.05%，钢的温度大约为 1670 °C；或 (2) 进入的液体合金碳含量大约为 1.0%，温度大约为 1500 °C，而钢的含碳量为约 0.05%，钢温度大约为 1650 °C。在表 2 的区域 A 示出的从第一阶段进入的铁碳液体的温度和组成的一般限制范围内，许多存在的这类组合会导致自热的第二阶段。在其它情况下，如果需要补充热能，后燃烧氧气可以被引入第二阶段反应器的蒸气空间内以燃烧一部分

CO.

富含 CO 的气体以钢的温度离开第二阶段反应器，因为它是在钢池中产生的，并且优选地没有氧气加入到气相。如果利用连续流程的反应器，氧气风口可间隔 1.0-1.5 米，金属流通过的通道必须有这样的横截面积：使金属塞流的速度至少达到约 0.5-1 米/分钟，以防止回混。这种容器某一部分的混合模型在图 3 中显示。正如图 3 中显示的，标注的向上的速率是指每个风口正上方的金属。围绕风口上上升的每个金属卷流都有一个不同的循环图样，这样的图样具有由容积几何形状决定的金属的充分向前流动，有效地减小反应器中的回混并在池中形成了碳的浓度梯度。

第二阶段反应器是完全封闭的，从而从池中发散的 CO 就能被收集而不会暴露在空气或其它氧气源中。象第一阶段反应器一样，第二阶段反应器也是有耐火衬的，以使热量损失最小。

如果第二阶段反应器以半连续的方法操作，则必须设置间断地开关金属放出口的装置。在这种情况下，没有必要从一端到另一端保持碳的浓度梯度，容器可被作为一个充分混合的反应器来操作。

应用上面描述和举例的数据，可根据表 2 中的条件设计一个系统，以用于从碳化铁中生产 50,000kg/小时的钢。在图 4、5 和 6 示出这样的—个示例性第一阶段反应器，该第一阶段反应器与相应的第二阶段反应器相结合，能够以上述这样的速率生产含有约 0.05% 碳且温度约 1630℃ 的钢。如图 4 所示，在平面图中第一阶段反应器通常是矩形的，并且有一个象图 6 所示的圆底 44。第一阶段反应器也可以例如如图 6 所示是可倾动的，它可以跨在辊 46 上，利用电机 49（图 5）驱动、通过齿轮箱 48 利用驱动轴 47 可以倾动该反应器。反应器的倾动动作有助于液面下风口 17 的运行和维护以及炉衬的更换等等。

图 4 中装有耐火衬的反应器 1 在渣管道处有约 2 米的内宽和约 5 米的内长。在稳定操作中，从底部最低点至金属熔池表面的距离约 0.7 米；从底部最低点至渣顶的距离约 2.5 米（稳定操作时金属池之上的渣沫深度优选不超过 2.0 米），并且从底部的最低点到顶部内表面约 4.0 米。

通过一根单独的喷管、它可能是简单的钢管 51，连续保持着碳化铁（表 1）的 1000kg/分钟的稳定供给量。碳化铁喷吹具有这么高的速率，以塞流操作第一阶段反应器是困难的或是不可能的。事实上，正如



上所述，在第一阶段反应器中，碳化铁供料直接喷吹进入金属熔体对于在第一阶段反应器中充分混合反应起了很大的促进作用。也正如上所述，这是盖氏专利 5,139,568 的另一个不足。喷枪 51 是可缩式的并浸入到金属池中，例如在操作中至少在渣下 30cm。碳化铁的致密相流动被保持，并有 45.4 千克(100 磅)碳化铁对 0.454 千克(1 磅)载体气体的典型比率。载体气体优选地为二氧化碳或氮气，稳态下池中金属的重量是 32 吨。

能够用氧气燃烧来自第二阶段反应的高达 $1200\text{Nm}^3/\text{小时}$ 一氧化碳的燃烧器 19 被安装在反应器最靠近第二阶段反应器的端壁且在底部最低点之上约 2.3 米，而且以约 30 度的角度向下倾斜。燃烧器 19 也装备有一个天然气供应管道 20，以使天然气能以约 $2 \times 10^{10}\text{KJ}/\text{小时}$ (5×10^6 千卡/小时)的最大总能量输入速率取代 CO。

天然气/氧气燃烧器 12 以相似的方式安装在 CO 燃烧器的对侧端，并能以 0 到 $2 \times 10^{10}\text{KJ}/\text{小时}$ (5×10^6 千卡/小时)的速率输入能量。

4 到 8 个浸入式气体屏蔽的风口 17 被安装在炉子底部，使得约 $40.8\text{--}45\text{Nm}^3/\text{分钟}$ 的氧气被连续注射，氧气在这些风口之间均匀分配，一起喷入的约 $6.8\text{--}8.0\text{Nm}^3/\text{分钟}$ 的天然气或 $10.2\text{--}11.2\text{Nm}^3/\text{分钟}$ 的 CO_2 或 N_2 作为氧枪冷却剂，也在各风口之间均匀分配。

4-8 支后燃烧枪 18 使得约 $35\text{Nm}^3/\text{分钟}$ 的氧气被喷入，氧气可以在氧枪间均匀分配，氧枪被放置在反应器 1 的侧壁上，例如在熔池之上约 1 米，即在泡沫渣层内。这些氧枪以一个如约 25~30 度的角度朝下倾斜，朝向金属熔池并深入渣层中。这样喷射入的氧气用于使第一阶段反应中产生的 CO 在泡沫熔渣中后燃烧生成 CO_2 。

金属从放出口 52 被连续放出，且金属熔池面在稳定操作期间保持在约 0.7 米。

炉气、主要是 CO_2 和烟尘通过滑动密封件 53 (图 4 和 5) 从第一反应器中除去，该滑动密封件阻止空气的大量进入并与排出管 23 连接。

反应器被设计成能使得放出、气体注射和废气的去除在基本上没有空气进入的情况下实现，从而降低废气处理的投资和氮氧化物形成。

从耐火衬修理简易考虑，反应器顶部的那一半可以做成可更换的。

中间物铁碳合金 (一般具有 1.0-1.5% C 成分和 1490—1540℃ 的温度) 在无渣和尽可能少的温度损失下从第一阶段反应器转移到第二阶段反应器。为此目的，来自第一阶段的熔融金属被转移，例如通过一个可



倾动的分流槽或者中间贮存罐（未示出）。或者，熔融金属或其一部分可以被取出并以生铁和微粒的形式被固化。第一阶段反应器的热平衡被列入下面的表 12 中，其条件详述于表 6 中。

表 12

5

热平衡 - 第一阶段

热输入	10 ³ KJ/小时 (千卡/小时)	热输出	10 ³ KJ/小时 (千卡/小时)
废钢	0		
碳化物中的 Fe ₃ C	-1.69 × 10 ⁷ (- 4221205.88)	CO ₂	2.24 × 10 ⁷ (5603686.36)
碳化物中的 Fe ₃ O ₄	-1.26 × 10 ⁶ (- 316767.64)	CO	1.48 × 10 ⁶ (369827.96)
碳化物中的 SiO ₂	-8.81 × 10 ⁵ (- 220231.96)	中间物 Fe-C	6.31 × 10 ⁷ (15782894.27)
来源于阶段 2 中 CO ₂ 的少量热损失	-6.25 × 10 ⁴ (- 15621.36)	渣 (如 2CaOSiO ₂)	8.55 × 10 ⁶ (2138419.65)
来源于阶段 2 中 CO 的少量热损失	-2.50 × 10 ⁵ (- 62453.86)	灰尘	1.75 × 10 ⁶ (436281.24)
		反应式: 4Fe ₃ C+Fe ₃ O ₄ =15Fe+4CO	6.86 × 10 ⁶ (1714063.08)
碳化物中的 Fe (金属的)	-7.82 × 10 ⁴ (- 19539.78)		
反应式: CO + 1/2 O ₂ =CO ₂	-6.85 × 10 ⁷ (- 17119880.14)	反应式: C(gr)=C 在熔液中	1.48 × 10 ⁶ (370561.01)
造渣形成中的热	-3.14 × 10 ⁶ (- 786938.43)	热损失	1.31 × 10 ⁷ (3283233.27)
反应式: Fe ₃ C+1/2O ₂ =3Fe+CO	-2.27 × 10 ⁷ (- 5666999.29)		
反应式: Fe ₃ C=3Fe+CO	-1.48 × 10 ⁶ (- 370270.60)		
形成灰尘中的热	-3.60 × 10 ⁵ (- 899057.91)		
补充燃料所需能量	0.00		
合计	-1.19 × 10 ⁸ (- 29698966.85)		1.19 × 10 ⁸ (29698966.85)

装有耐火衬的第二阶段反应器 36 是为了 (1) 通过气体屏蔽的底



部风口将氧气喷入熔融态金属流对来自第一阶段的液态铁碳合金进行脱碳；（2）收集碳和氧反应生成的一氧化碳作为第一阶段的燃料以及（3）将稳定的钢流放入收集钢包 43 中以为后续铸造进行温度和成分调节。示例的第二阶段反应器更为详细的视图表示在图 7A 和 7B，其中容器的长度比其它两个方向的尺寸更长，底部氧气的吹入通过 6 个风口 38，这些风口限定了 6 个处理区域并且沿槽底部中心管道间隔开例如 1.06 米。用 $\text{Nm}^3/\text{分钟}$ 表示的氧气流在几个风口区域可变化，优选地在各个风口区在熔融金属内提供基本等量的搅拌能量，例如以如下氧气流：区域 1，4.04；区域 2，2.18；区域 3，1.39；区域 4，1.74；区域 5，1.39；区域 6，2.12。作为保护气体，0.15-0.23 $\text{Nm}^3/\text{分钟}$ 的天然气或 0.38-0.58 $\text{Nm}^3/\text{分钟}$ 的 CO_2 ， N_2 或 Ar 流向每个风口。在第二阶段反应器中二氧化碳是优选的风口冷却剂，以防止未被化合的氢气可能产生聚集并由此导致爆炸的危险，例如利用甲烷冷却剂可能发生这种情况（第一阶段反应器则相反，那里吹入泡沫渣中的氧与氢化合生成水）。在本实施例在第二阶段反应器中，这样的氧气风口的数量和间隔是最优的，以达到预期的脱碳水平，并保持炉内金属溶液驻留时间较短以防止回混和吹穿问题。图 8 示出金属驻留时间与第二阶段反应器的风口数量的关系，这里引入第二阶段反应器中的中间物铁碳合金中的碳含量是 1.5%，而最终铁碳合金中的碳含量是 0.01-0.5%（重量）。正如所示，可利用六个风口使获得该最终碳含量的驻留时间尽可能短。如上所示，到每个风口的氧气流可根据需要被分别控制以从反应器入口到出口端保持一个所期望的碳梯度。在任何情况下，注入钢池中的全部氧气必须处于基本上为化学计量的配比量以将池中碳含量降至期望的水平。在最后两个风口进行例如大约 0-1.5 $\text{Nm}^3/\text{分钟}$ 的氢气喷入。

示例的第二阶段反应器被显示在图 7A 和 7B，它可以沿下游方向稍稍倾斜（例如大约 1%）以助于金属流动，并且邻近于反应器装料端具有第一部分耐火通道 60，该通道比邻近反应器出口端的第二部分通道 61 更宽、更深。例如，第一部分通道 60、区域 1 和 2 的内部尺寸确定了该部分中金属熔池的尺寸：可为约 1.02 米宽、0.61 米深并有 2.77 米的长度。第二部分 61、区域 3-6 可有一个约 0.61 米宽的通道、0.41 米的熔池深度和约 4.11 米长。这样的容器可调节沿反应器长度方向的活塞式流动中的熔融铁碳合金连续流动。在第二个较窄部分 61 中的

活塞式流动速率约为 0.5-0.6 米/分，全部金属流大约是 51000kg/小时。这样的反应器结构也能够降低液态金属熔池的泼溅（液态金属表面的共振波）。以 1450-1550℃、优选为约 1520℃ 的温度进入第二阶段反应器的金属以大约 1630-1670℃ 的温度从反应器中出来。

5 上述实施例中第二阶段的分段热平衡依据表 6 示于下表 13 中。

表 13

第二阶段热平衡			
热输入	10 ³ KJ/小时 (Kcal/小时)	热输入	10 ³ KJ/小时 (Kcal/小时)
Fe-C 中间产物用	- 6.31 × 10 ⁷	钢	6.75 × 10 ⁷
Kcal/Kg	(-15782894)		(16875560)
反应式:	-4.66 × 10 ⁶	灰分	6.82 × 10 ⁵
C (gr) + O ₂ =CO ₂	(-1165818)		(170375)
反应式:	-5.24 × 10 ⁶	CO	2.50 × 10 ⁶
C (gr) + 1/2O ₂ =C	(-1309754)		(624526)
C 的溶化	-1.15 × 10 ⁶	CO ₂	6.24 × 10 ⁵
	(-286808)		(156023)
		热损失	2.87 × 10 ⁶
			(718611)
合计	-7.42 × 10 ⁷		7.42 × 10 ⁷
	(-18545275)		(18545275)

如同第一阶段反应器的情况，第二阶段反应器被设计成得以防止空气的进入，从而并不燃烧反应产生的 CO。从而，象在第一阶段反应器一样，熔融金属的进出通过浸入式放出口或虹吸管实现。

10 从第二阶段反应器 36 中出的气体处于熔融金属的温度，例如约 1630℃，它们在水冷却器 41 中冷却而可用于以例如约 137.8KPa (20psig) 的压力提供给第一阶段 CO 燃烧器 19。如上所示，来自第二阶段反应的烟尘基本上是纯铁，它在细分的（例如大约 1 微米）状态时是自燃性的，所以必须小心防止空气或其它来源的氧气接触这种材料，因为在氧气存在的条件下，它将在大约 100℃ 以上的温度下燃烧。

15 第二阶段工艺装入的原料是足够纯的，因此，如果需要助熔剂，也是非常少的。在第二反应中形成的少量渣被周期性地从第二阶段反应器通道的装料端放出。

20 金属流可以短时间停止以适应从一个收集器向另一个收集器的转换，或者当从第一阶段的装料有一个延迟时。

在上述实施例中，钢包 43 能够容纳 60000kg 钢，并保持钢的温度

在约 1600 ℃，为此目的，钢包 43 需要装备一个盖子（未示出），通过它可以插入一个燃烧器。

第二阶段反应器的紧急倒空可以利用分流放出槽（未示出）进行调节。

5 可将来自第一阶段和第二阶段反应器中的废气取样以连续地分析 CO 和 CO₂，流量计和控制器安装在所有的氧气和天然气管道上，并借助程序逻辑控制器（PLC）提供从气体分析器到流量控制器的动态反馈。

10 所述两阶段反应对于本发明从碳化物到钢工艺的有效操作是决定性的。正如上述的特定实施例中描述的，第一阶段反应器是充分混合反应器，没有必要并确实不可能沿着反应器长度方向保持成分梯度，从而导致热平衡和工艺控制的简化。第二阶段也可以按一个充分混合反应来进行操作，但优选保持塞流或层流，从反应器进口端到出口端有碳成分梯度。将从该第二阶段反应中产生的至少大部分 CO 收集起来而在第一
15 阶段反应器中燃烧是必要的，优选地在泡沫熔渣层中燃烧，使得在第一阶段反应器中从渣到熔融金属的热传导效率最高。用这种方法，从第二阶段反应中生成的 CO 的最大能值被挖掘，并且第一阶段的反应也基本上能够自热进行。

本发明方法的上述实施例中，相应的物料总平衡也根据表 6 显示。

20 表 14
物料总平衡

	<u>流量</u>	<u>数量</u>
		<u>Kg/小时</u>
	碳化铁供料	57100
25	熔剂	3426
	钢	50000
	渣	5525
	灰土	1114
	脱碳氧气，阶段 2	1190
30	脱碳氧气，阶段 1	3166
	后燃烧氧气，阶段 1	4082
	废气，阶段 1	12416

为用于实际商业生产，包括第一和第二反应器的单一单元的生产率可为 25-200、特别是 50-150 吨/小时，对于较大的生产率来说，若干这样的单元可平行地安装。

5 第一阶段反应器的装料除了碳化铁材料之外还包括多达 50% 的成分，象废钢、生铁和预还原矿。在这种情况下，如果非碳化物的装料部分是主要的话，则通常需要一些补充能量的投入，例如燃烧天然气、油或煤。

10 通过将本方法分为两个独立阶段并且在连续稳态操作期间消除在第一阶段保持浓度梯度的需要，本方法的操作和反应器的结构是非常简化的。施行一个充分混合方法要容易的多。这样划分工艺步骤也能导致这样的事实，即在第二精炼阶段所释放的、第二阶段反应自热进行并不需要的

15 气体中的能量可以得到充分利用，以提供第一熔炼阶段自热进行所需的能量。这种从第二阶段回收 CO 而在第一阶段充分利用解决了现有技术中的这样一个问题、即：在适当地方适当利用工艺过程产生的气体。

同样，通过将工艺分为两个阶段，还可以依据具体钢厂的需求来决定精炼阶段是连续的、半连续的或是间歇的，以适应钢包炉或连铸操作。

20 通过完全封闭，本发明的系统基本上可以消除污染，从第一阶段产生的灰尘可以被捕捉并返回到工艺过程，并且富含 CO₂ 的废气可以冷却并收集用于其它用途或出售。

作为一个连续的工艺，年生产能力的吨钢资金成本可以降低。

作为一个基本上自热进行的工艺，运营成本可比其它炼钢方法低。

25 本工艺可以以尽可能少的所需附加燃料利用备好的废钢，而不会大幅度提高成本。

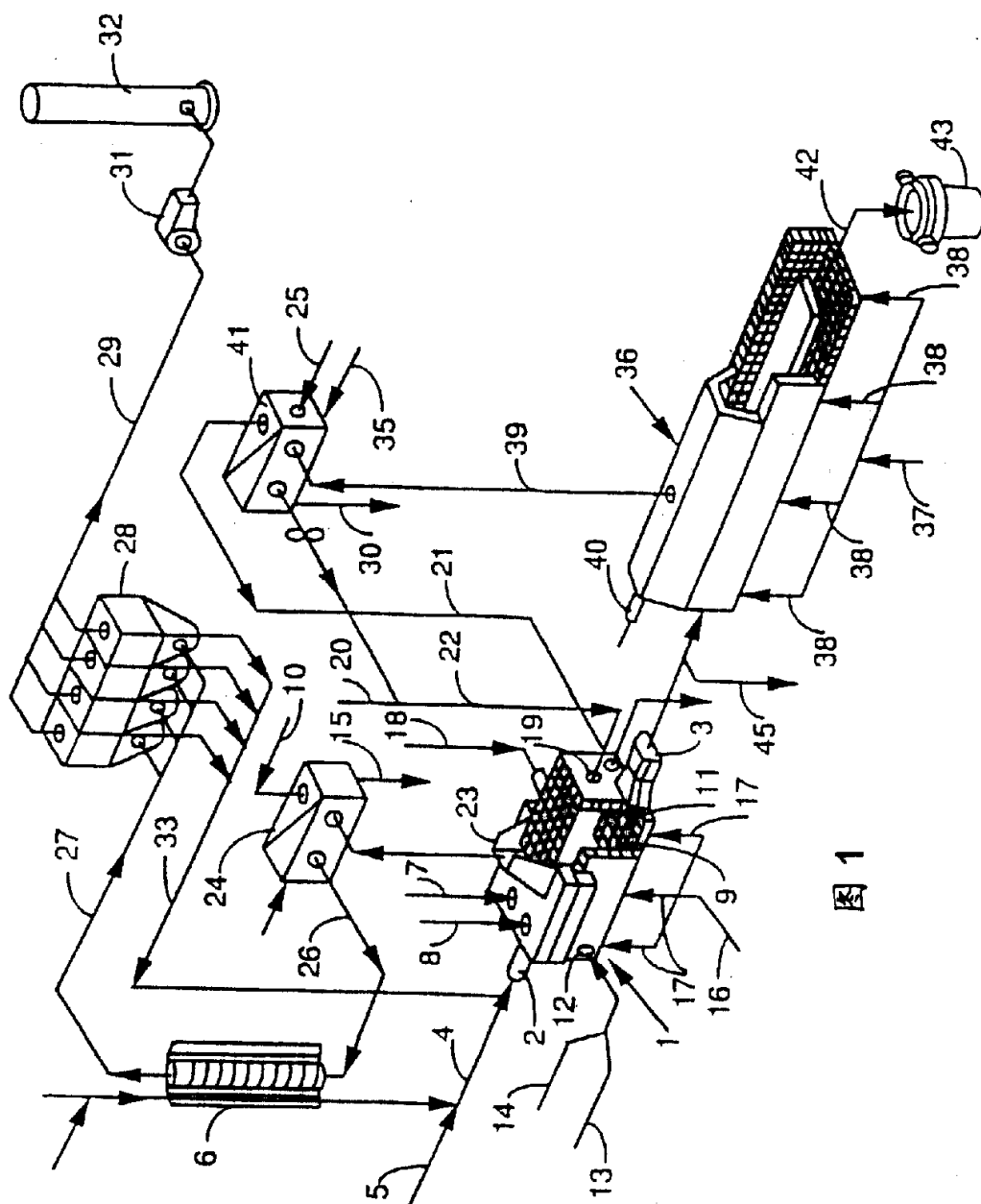


图 1

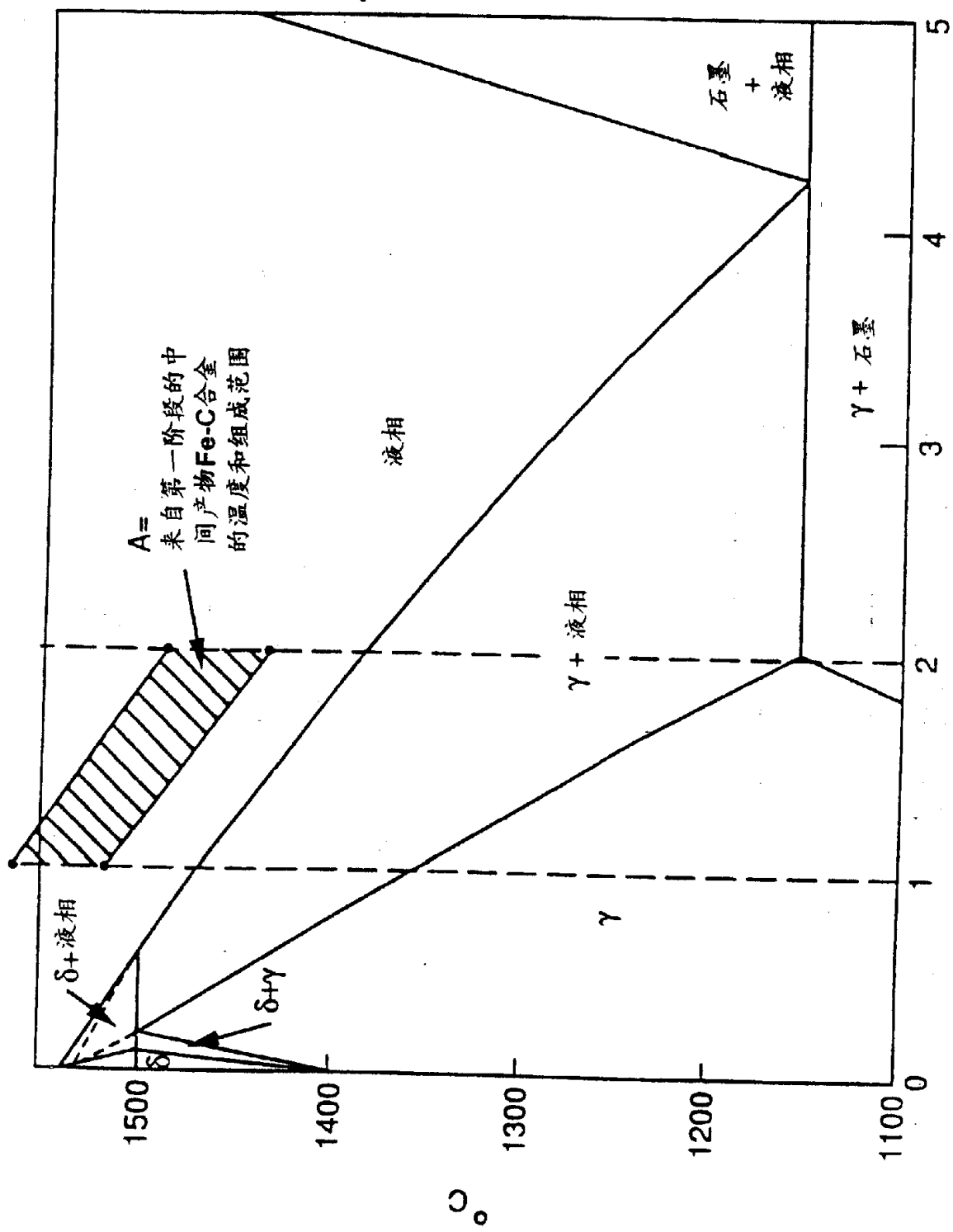


图2 Wt% C

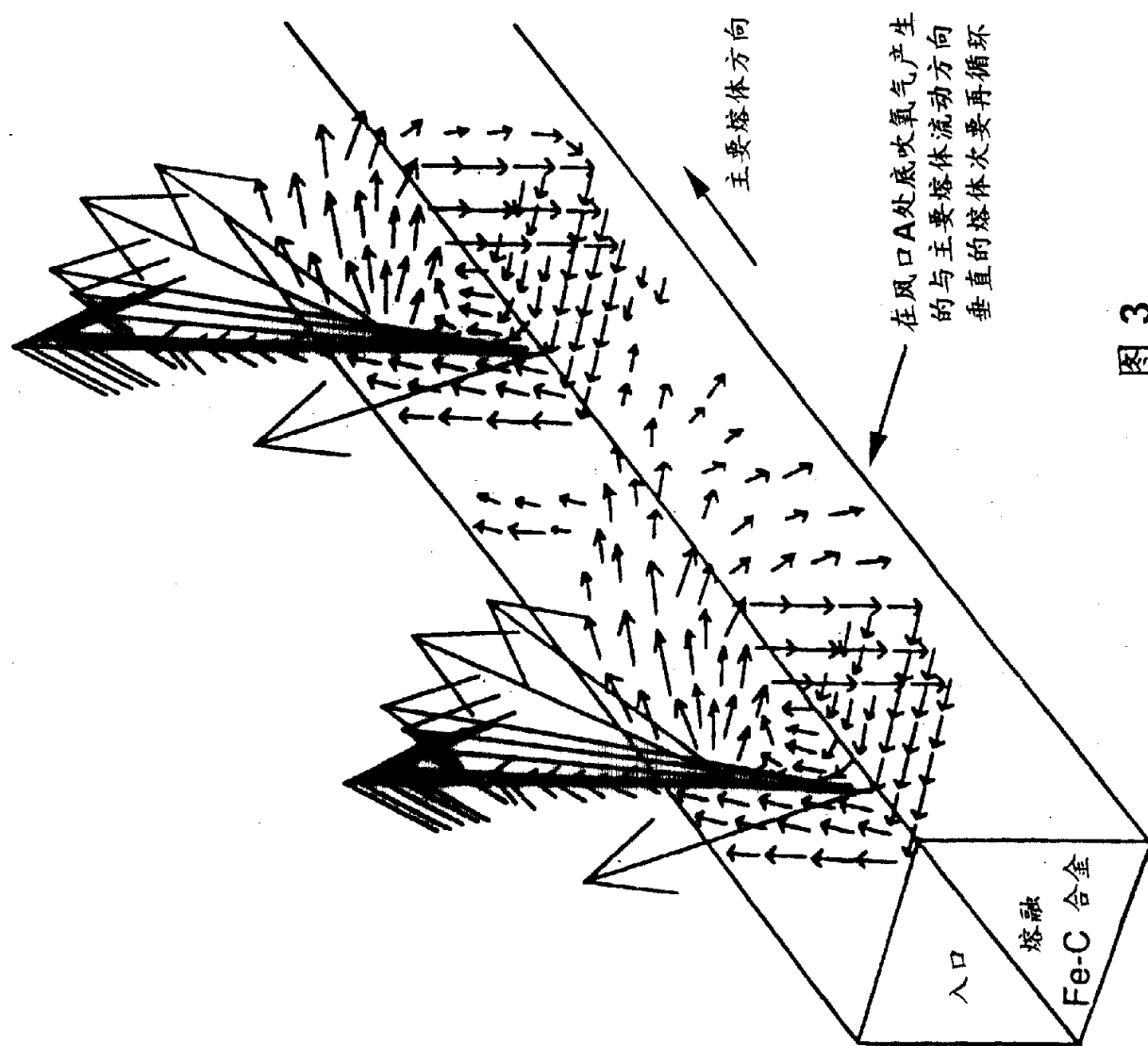


图 3

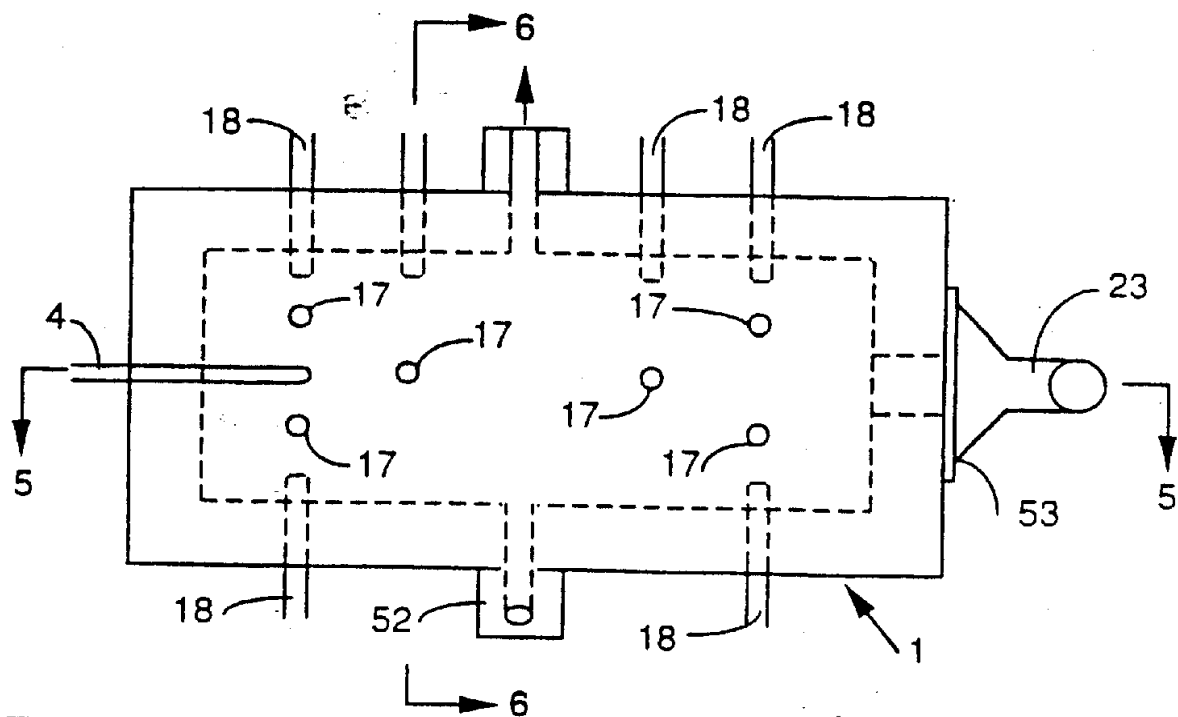


图 4

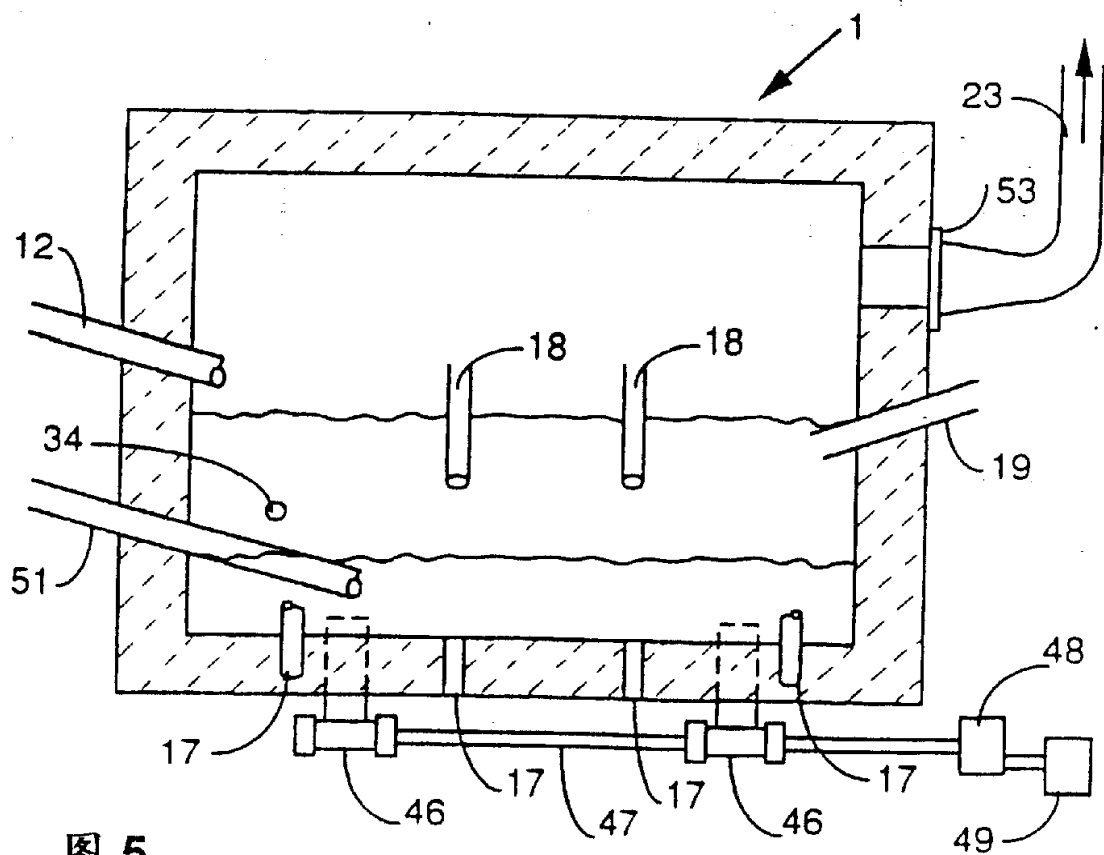


图 5

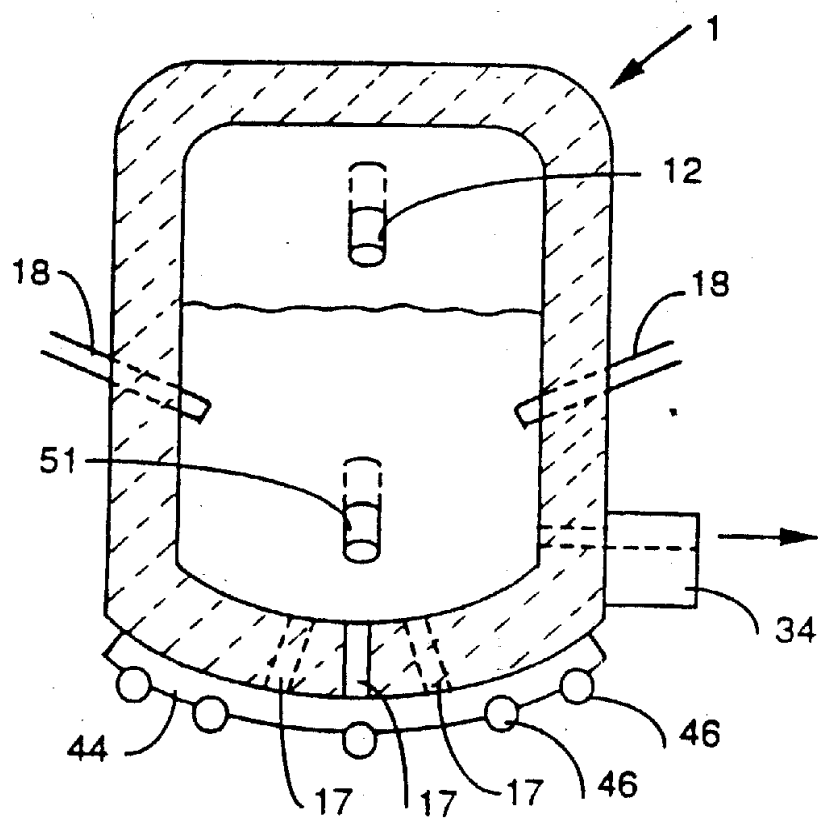


图 6

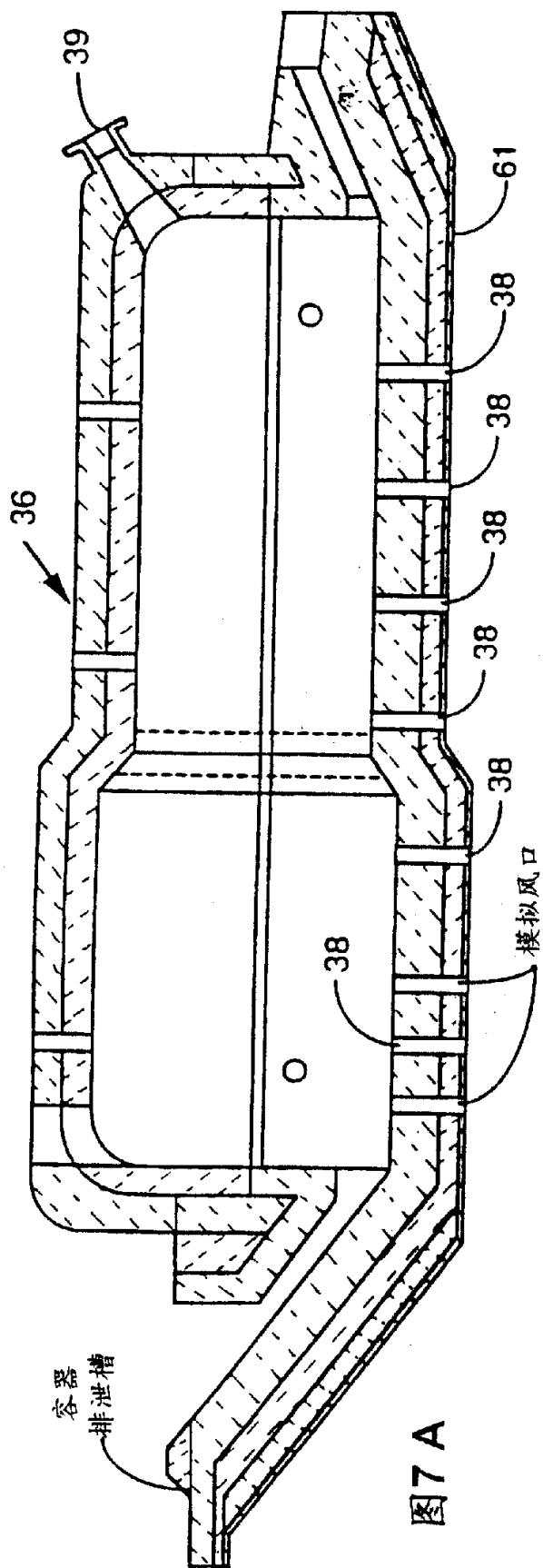


图 7 A

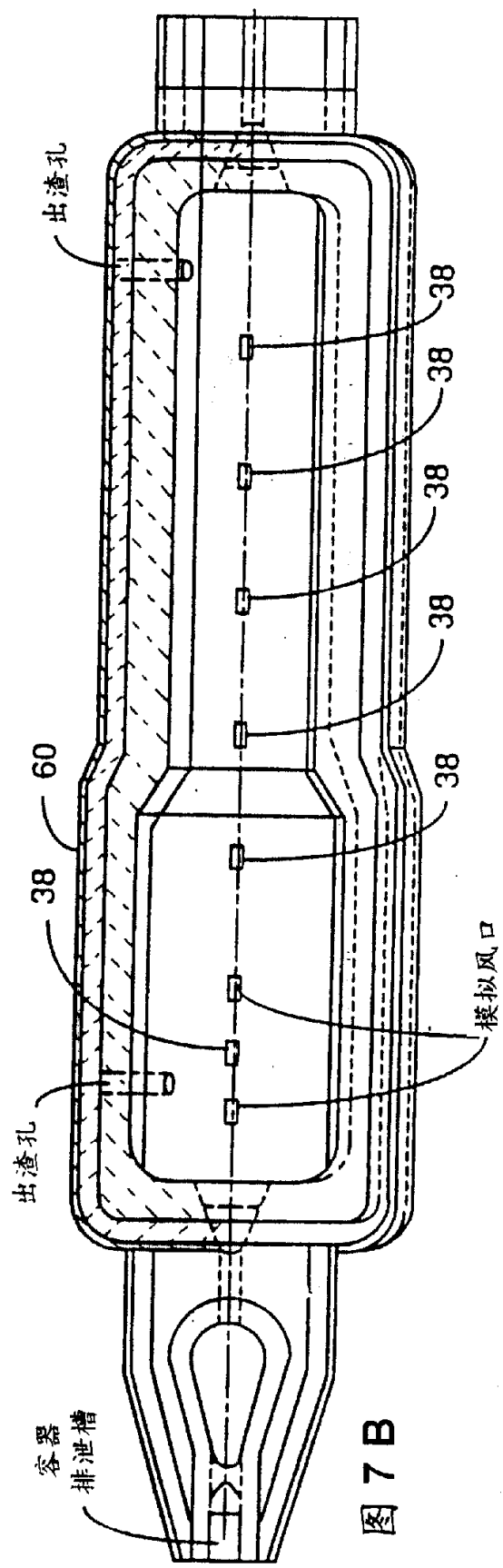


图 7 B

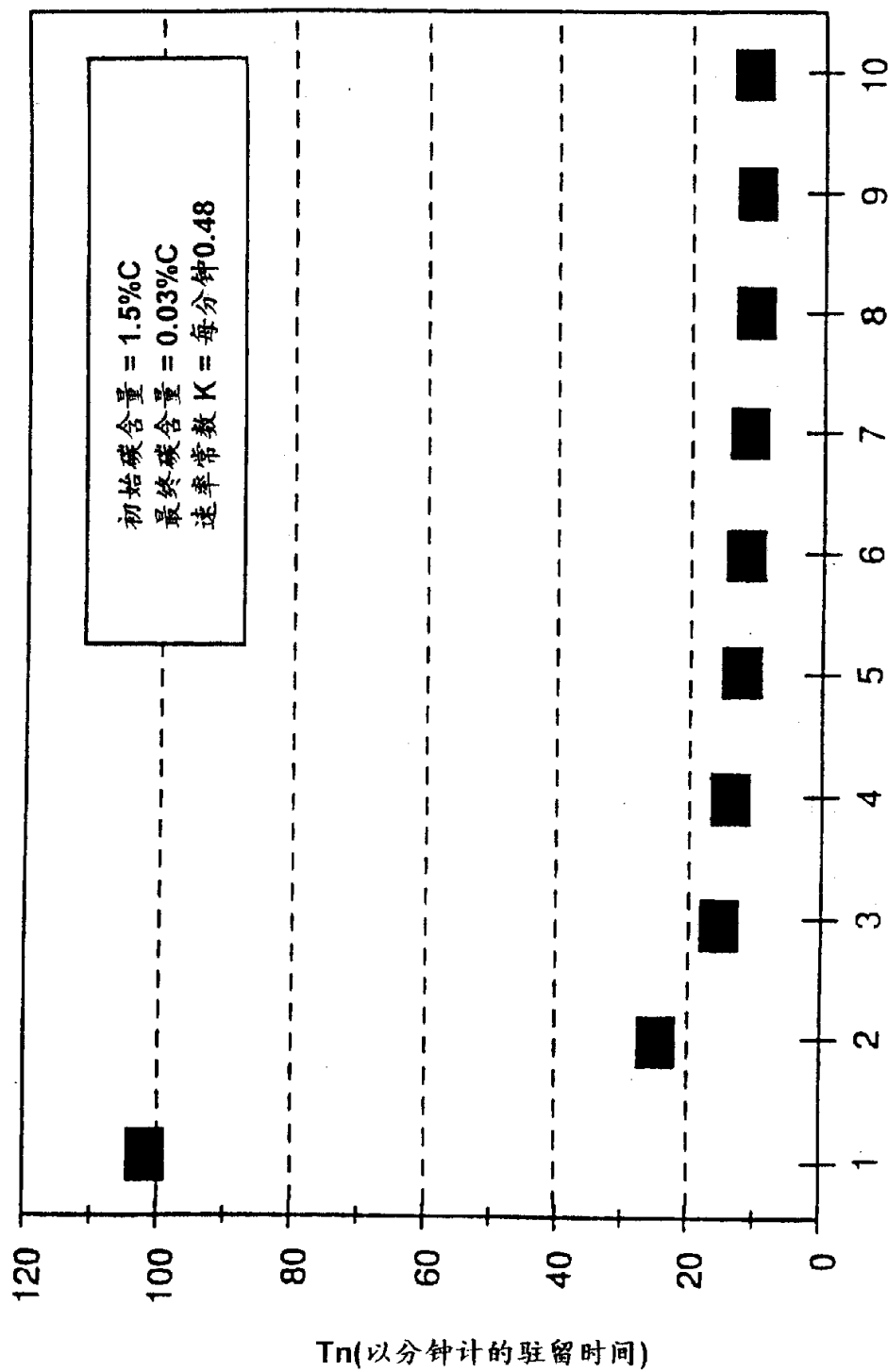


图 8 N(#按次序列出的混合容器号)