

万真雅 薛立基 合编

重庆大学出版社

钢铁冶金 设计原理 下册

2.1
4

钢铁冶金设计原理

下册

万真雅 薛立基 合编

重庆大学出版社

内 容 提 要

本书是参照全国11所高等院校钢铁冶金专业1987年7月教学讨论会制定的《钢铁冶金设计原理》教学大纲(试行)编写的。分上下两册出版。

本书下册内容包括:转炉炼钢,电炉炼钢,连续铸锭,炉外精炼,炼钢车间等五部分。以炼钢工艺为主导,系统地阐明设备的设计原理和参数确定的方法。连铸和炉外精炼的设计原理原则有较多的论述。适当地引用了炼钢过程控制、设备与工艺参数优化的数学模型。资料丰富新颖,简明易懂。

钢铁冶金设计原理(下册)

万真雅、薛立基
责任编辑 宗联枝合编

重庆大学出版社出版发行
新华书店经销
重庆大学出版社印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/16印张: 16.75字数: 418千
1992年6月第1版 1992年6月第1次印刷

印数: 1—4000

标准书号: ISBN 7-5624-0479-8 定价: 4.38元
TF·4

(川)新登字020号

前 言

本书是在编者讲授《钢铁冶金设计原理》课程所编写的讲义的基础上，参照11所高等院校钢铁冶金专业第一次教学讨论会（1987年9月于包头）所制定的《钢铁冶金设计原理》教学大纲（试行）补充修改而成的。主要供高等学校钢铁冶金专业作为教学用书，也可供本专业的工程技术人员参考。

本书分上下册出版。上册含第一篇（钢铁厂设计概论）和第二篇（炼铁），下册为第三篇（炼钢）。编写时着重从工艺角度论述钢铁冶炼工艺所涉及的基本流程和主要设备的基本结构、工作原理、设计原则及设计方法，并力争从技术发展的历史回顾去认识理论和实践的关系，阐明今日技术的过去、现在和将来。

本书承蒙重庆大学裴鹤年教授和颜广庭副教授审阅，提出许多宝贵意见并定稿，在编写过程中得到马鞍山钢铁公司、华东冶金学院有关领导和同行的热情鼓励和支持，同时也吸收了上述教学讨论会的意见。另外，在本书编写和出版过程得到重庆大学宗联枝副教授的许多宝贵指导，在此一并致谢。由于水平和时间所限，错误和不妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

编者

1991年3月

目 录

(下 册)

第三篇 炼 钢

第九章 氧气转炉	(1)
第一节 顶吹转炉物料平衡和热平衡.....	(1)
第二节 顶吹转炉炉型及其主要参数.....	(2)
第三节 转炉倾动力矩和耳轴位置的确定.....	(17)
第四节 顶吹转炉氧枪设计.....	(20)
第五节 顶底复吹转炉炉型及其主要参数.....	(43)
第十章 电弧炉	(60)
第一节 电弧炉冶炼的物料平衡和热平衡.....	(60)
第二节 电弧炉炉型尺寸计算和变压器功率选定.....	(60)
第三节 电弧炉主要设备.....	(68)
第四节 电弧炉电气特性及其最佳工作点的选择.....	(77)
第五节 电炉变电所.....	(83)
第六节 电炉容量和座数的选择以及车间生产能力的确定.....	(86)
第七节 超高功率电弧炉.....	(87)
第十一章 连续铸钢	(91)
第一节 连铸产品大纲的确定以及连铸与轧机的配合.....	(92)
第二节 弧形连铸机主要工艺与设备参数.....	(95)
第三节 弧形连铸机总体尺寸的确定.....	(121)
第四节 弧形连铸机产量的确定.....	(124)
第五节 连铸机与冶炼炉的配合以及连铸机台数的确定.....	(126)
第六节 连铸机主体设备.....	(131)
第七节 压缩浇铸.....	(147)
第八节 电磁搅拌.....	(149)
第十二章 炉外精炼	(158)
第一节 真空提升脱气法 (DH 法)	(158)
第二节 真空循环脱气法 (RH 法)	(166)
第三节 钢液吹氩处理.....	(185)
第四节 钢包喷粉处理.....	(188)
第十三章 炼钢车间	(213)
第一节 氧气转炉车间.....	(213)
第二节 电炉车间.....	(250)
第三节 连铸机在炼钢车间内的工艺布置.....	(254)
第四节 炼钢车间主要设备计算.....	(259)

第三篇 炼 钢

第九章 氧 气 转 炉

氧气转炉已从顶吹发展到顶底复吹，但复吹转炉炉型仍基本上沿用顶吹的炉型。因此下面着重讨论顶吹转炉的设计，复吹转炉只是指出其不同之处而已。

氧气转炉是转炉车间的主体设备，转炉本身设计的好坏直接影响炼钢的主要技术经济指标。因此，应当在作好转炉设计的基础上，配合良好的车间工艺设计，使转炉充分发挥生产潜力。

第一节 顶吹转炉物料平衡和热平衡

加入转炉的物料，从转炉排出的产物以及转炉本身热量收支情况，是通过物料平衡和热平衡计算得到的。它是建立在物质和能量不灭定律的基础之上的。这两项计算均以转炉作为考察对象，根据装入转炉或参与炼钢过程的全部物料数据和炼钢过程的全部产物数据，即图 9-1 所示的收入项数据和支出项数据，来进行物料和热平衡计算。通过计算，可以定量地

掌握冶炼工艺重要参数，对指导生产和分析研究改进冶炼工艺，设计转炉炼钢车间等均有其重要意义。由于转炉炼钢过程是一个十分复杂的物理化学过程，要求进行精确的计算较为困难，特别是热平衡只能近似计算但它仍然具有十分重要的指导意义。

物料平衡和热平衡计算，一般可有两种方案：一种方案是为了设计转炉及其供氧设备以及相应的转炉炼钢车间而进行的计算，通常侧重于理论计算，特别是新设计转炉而无实际炉型可以参考的情况下；另一种方案是为了校核和改善已投产的转炉冶炼工艺参数及其设备参数或者采用新工艺新技术等，而由实测数据进行的计算，比较侧重于实际。

转炉物料平衡和热平衡计算是设计转炉的基础。一般应根据原材料条件（主要是铁水成分如低磷或高、中磷铁水及石灰成分）、

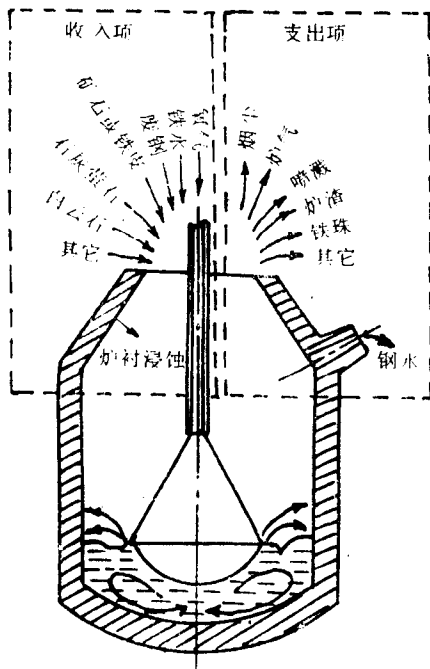


图9-1 顶吹转炉物料和热平衡示意图

钢种以及浇注方法，分为单渣法或双渣法进行计算，其具体计算方法不再赘述。

第二节 顶吹转炉炉型及其主要参数

目前，氧气转炉已成为主要的炼钢方法之一。截至1980年底，全世界已投产的转炉达150座以上，其中100t以上的转炉达400多座，而且转炉容量正朝着大型化发展。生产实践证明，转炉炉型及其主要参数不仅对转炉炼钢生产的产量（钢液收得率）、质量（钢中气体含量）、炉衬寿命和原材料消耗等主要技术经济指标有直接影响，而且也影响转炉倾动机械的功率大小以及转炉厂房高度有关。由于影响转炉炼钢生产的因素复杂多变和进行高温模拟试验相当困难，所以，至今对转炉炉型设计及其各部分尺寸的确定尚无成熟可靠的理论计算方法，而主要是通过考察和总结现有转炉的生产操作情况和工艺制度以及它们的技术经济指

表9-1 顶吹转炉炉型参数计算公式

作者	发表年代	炉容比 V/T	h/d 或 炉膛直径 d
回归方程	J.K.Stone	$V/T=0.967-0.00047T$	$h/d=1.83-0.0013T$
	G.Schmidl	$V/T=0.891$	$h/d=2.11-0.00279T$
	F.K.Leoben	$V/T=0.7\sim 0.9$	$h/d=3.9985V^{-0.185}$
半经验公式	E.Friedl	$V/T=(0.0265d^3Q/n+1.8d \times \sqrt{Q/n})/2T+T/7$	$d=1.07[(Q/T)^{1.5}nT]^{0.162}$
	J.Kreyger	$V/T=(C/60)t+0.193$	—

- 注：1. J.Stone 的公式系根据其所作图线作出；
 2. F.Leoben 的公式系根据其氧气顶吹转炉 $h=2.655V^{0.333}$ ， $d=0.664V^{0.418}$ ，将 h 被 d 除得出；
 3. E.Friedl 关于 V/T 的公式系由其喷溅容积 $V_{ms}=0.0265d^3Q/n$ 与起泡容积 $V_{mf}=1.8d\sqrt{Q/n}$ 的平均值另加钢液容积 $T/7$ 而得出；
 4. J.Kreyger 的公式中， t 为炉气在炉内的停留时间，取10~11s。

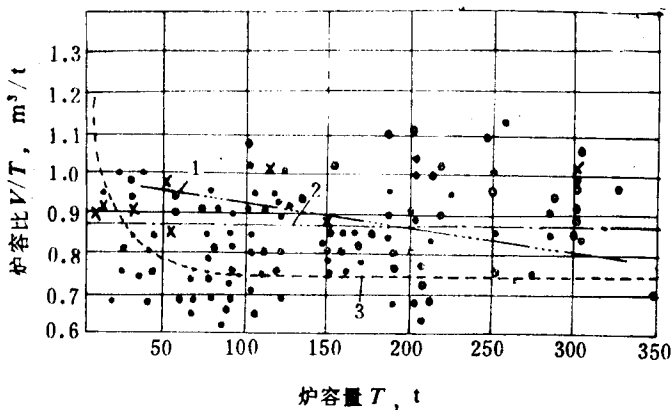


图9-2 炉容量与炉容比的关系

1—J.K.Stone线；2—G.Schmidl线；3—E.Friedl线（按供氧强度 $C=3Nm^3/t \cdot min$ ）×中国的；●外国的；○外国的（1967年后的）

标，结合采用一些经验公式和进行一些可行的模型试验来确定新炉的炉型和主要尺寸，即“依炉建炉”的方法。同时，还要考虑所建转炉车间的条件，如原材料和生产的钢种等。特别是改建的车间，一定要考虑厂房高度、柱距和基础等。必须指出，大型转炉和中小型转炉的炉型及其参数，由于炉容量的变化、操作工艺制度的不同、多孔氧枪和副枪的采用等因素的影响，也是有所区别的，

不能简单地互相套用。

为了设计相对最佳的转炉炉型，许多炼钢工作者曾进行了研究。有的将实际转炉炉型参数作统计处理，建立炉型回归方程；有的通过模拟实验，推导出半经验的炉型计算公式。以炉型的两个主要参数，即炉容比 (V/T) 和炉膛内高内径比 (h/d) 为例，其代表性的公式列于表9-1中。由各家公式计算所得的曲线及其与实际数据的对比见图9-2、图9-3和图9-4。

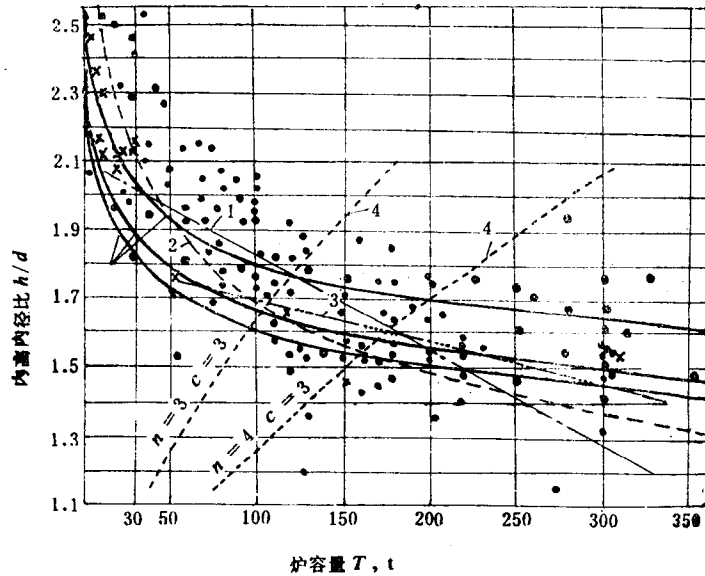


图9-3 炉容量与内高内径比的关系

1—G.Schmidl线；2—F.K.Leoben线；3—J.K.Stone线；4—E.Friedl线；5—推荐的
×中国的；•外国的；○外国的（1967年后投产的）

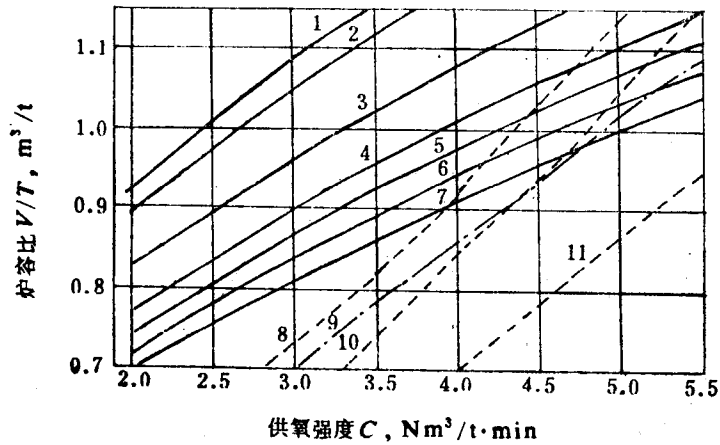


图9-4 炉容比与工艺条件的关系

1—Si 1.0%, P 2.0%; 2—Si 0.6%, P 2.0%;
3—Si 1.0%, P 0.5%; 4—Si 1.5%, P 0.1%;
5—Si 1.0%, P 0.1%; 6—Si 0.6%, P 0.1%;
7—Si 0.6%, P 0.05%; 8—E.Friedl 线; n=3
(n—喷头孔数, 下同); 9—J.Kreyger线, t=10
Sec; 10—E.Friedl线, n=4; 11—E.Friedl线, n=7

一、转炉炉型的选择

1. 转炉公称容量

转炉公称容量的含义目前国内外皆不统一，一般有以下三种表示方法（单位为t）：

- （1）平均金属（铁水加废钢）装入量；
- （2）平均出钢量；
- （3）平均炉产良锭（坯）量。

目前一般认为以炉子出钢量表示较为合理，其优点是：转炉的装入量比较稳定，设计的转炉公称容量与实际生产的炉产量可基本一致；炉产量可以不受操作方法及浇注方法不同的影响；可比性强；有利于设备系列化及转炉技术经济指标的考核等。

2. 转炉炉型的选择

（1）转炉炉型 系指转炉炉膛的几何形状，亦即指由耐火材料砌成的炉衬内形。它应能适应吹炼过程中炉内进行的物理化学反应，炉内钢液、渣液的循环流动和氧气射流对钢液的穿透能力以及炉气运动的规律，从而加速炉内的物理化学反应，均匀熔池成分和温度，提高炉衬寿命，减少喷溅，降低钢铁料、渣料及耐火材料的消耗。同时还应考虑尽可能减少转炉的倾动力矩，炉壳制造容易和修炉简便，以便减少动力消耗，改善劳动条件，提高转炉作业率。目前采用的转炉炉型大体上可归纳为三种，即筒球型、锥球型和截锥型。此外，国外为了冶炼高磷生铁进行喷石灰粉而专门设计了一种炉帽倾角大、内形上大下小的大炉膛型炉型。各种炉型示意图如图9-5所示。

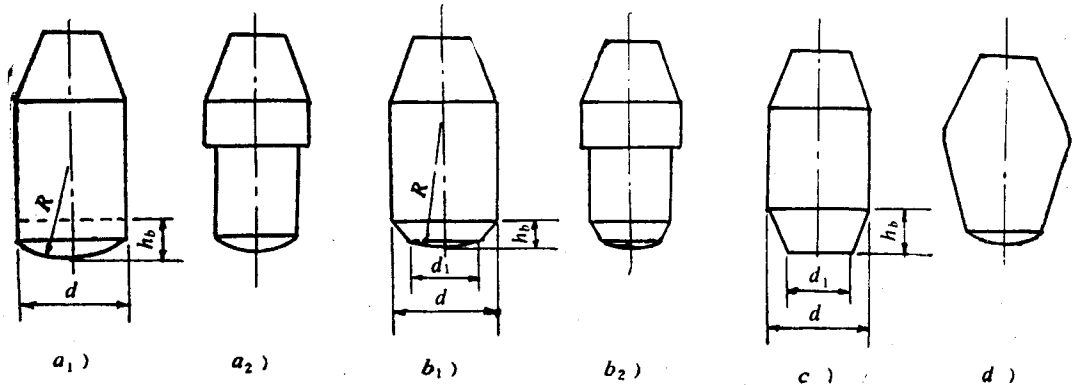


图9-5 转炉炉型示意图

1)筒球型炉型 该炉型的炉帽为截锥形，炉身为圆柱体，炉底为球缺形。它的炉体几何形状简单，炉壳制造容易，炉衬砌筑简便，而且熔池直径较大，有利于化学反应的进行，形状接近于钢液循环的轨迹，多用于200t以下的转炉。这种炉型使用较多，如美国和日本，我国120t及50t转炉也多半采用这种炉型。 a_1 型炉底的曲率半径一般为0.9~1.2倍的炉子内直径； a_2 型是在炉子下部设有加厚段，以延长炉龄，这种炉型日本采用最多。

2)锥球型炉型 这种炉型的特点是炉底收缩成倒锥形与球缺形，其余部分同筒球形炉型一样。其倒锥角度（与垂直线夹角），一般在 $12\sim 30^\circ$ 左右。它与筒球形炉型相比，其形状更符合钢渣环流的要求。若熔池深度相同，则其熔池面积比筒球型大，即熔池反应面积大，提高了吹炼的搅拌效果，有利于钢、渣之间化学反应的进行；熔池浸蚀较均匀；熔池深度变化小；炉型上下对称，空炉重心接近于炉体的几何重心，且新老炉的空炉重心距离也较

接近，故转炉的倾动力矩小。因此，锥球型炉型现已被大容量转炉普遍采用。在西德采用较普遍，因为西德生铁中含硫磷相对偏高之故。 b_1 型没有加厚段，而 b_2 型则设有加厚段。

3)截锥型炉型 如图9-5c所示，该炉型是炉底呈倒截锥形，它基本上能满足炼钢反应的要求，一般只适于小容量转炉，我国30t以下的转炉采用较多。球形炉底不好砌筑，而这种倒圆台体的炉底砌筑方便，故小炉子普遍采用。在国外，这种炉型采用极少。

4)大炉膛型炉型 如图9-5d所示，这种炉型的炉膛很大，且上大下小，以适应渣量大的要求。因为在西欧一些国家，如法国、比利时、卢森堡等，由于矿石含磷较高，为了冶炼高磷生铁，采用氧气流中喷石灰粉的吹炼工艺，以便于铁水快速脱碳，同时提高脱磷脱硫效果。因而要求尽早造成含CaO多、起泡沫且氧化能力强（即FeO含量高）的稀渣。由于渣量大，要求增大炉膛的反应空间，便于扒渣和倒渣。

总之，应根据转炉容量、原材料条件、供氧参数等来选择合理的炉型。大中型转炉采用a型或b型，小型转炉采用c型，而对于用喷石灰粉法冶炼的转炉则采用d型。

(2) 炉帽 有正口形和偏口形两种。目前普遍采用正口形炉帽，特别是多孔氧枪的使用，使喷溅明显减少，更无必要使用偏口形炉帽。

与偏口形炉帽相比，正口形炉帽的优点是：炉体高度减小，从而厂房高度亦可相应降低；炉壳形状简单，易于制造，砌砖方便；便于转炉采用一侧兑铁水和加废钢，另一侧出钢的两面操作，可使炉膛两个大面浸蚀较均匀，有利于延长炉衬寿命。其缺点是喷溅损失较大。

炉帽倾角（与水平线夹角）对炉帽上部的砌筑和炉衬寿命有较大影响。在转炉高宽比一定的情况下，炉帽倾角越小，不但砌筑内衬困难，而且在冶炼过程中容易发生炉帽内衬塌落；此外，在出钢时炉帽处窝存钢水量较多，增大了倾动力矩。因此，在满足炉口尺寸的前提下，适当增大炉帽倾角有利，一般在 $60\sim 68^\circ$ 。

出钢口的位置应考虑其对出钢的影响（图9-6），它一般位于炉帽与炉身的连接处（图9-6a），在该连接处的上部（图9-6b）或下部（图9-6c）均不好。出钢口角度（与炉子垂直位置时的钢液面夹角）越小，出钢口长度越短，钢流长度亦越短，可减少钢流的二次氧化和散热损失，且易对准炉下钢水罐车，在出钢过程中钢水罐车的走行距离也短；修砌或开启出钢口方便，故多数转炉使用较小的出钢口角度。尤其是大型转炉，由

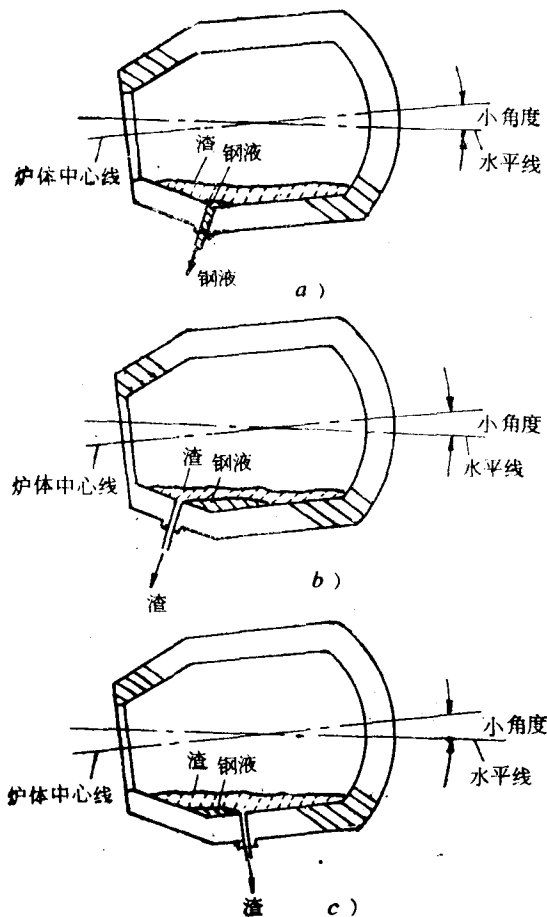


图9-6 出钢口位置的影响

a) 出钢口位于炉帽与炉身交接处；b) 出钢口位于炉帽与炉身交接处之上；c) 出钢口位于炉帽与炉身交接处之下

于出钢口位置较高，只有采用小的出钢口角度，才能在炉子旋转至水平位置时，开启与堵塞出钢口方便。目前国外大型转炉采用的出钢口角度为 $0\sim 20^\circ$ 。

(3) 炉底 转炉炉底结构必须与其修炉方式适应，一般上修炉采用“死炉底”，下修炉则采用“活炉底”，“活炉底”又可分为大炉底和小炉底两种。大炉底的接缝比小炉底大，漏钢机会多。故一般大型转炉多采用小炉底结构，而中小型转炉为了修炉时能有足够的空间及拆装方便，多采用大炉底结构。“活炉底”的优点是：修炉时炉子冷却快；拆炉方便，运砖安全；炉内通风良好，劳动条件改善；炉底与炉身砌筑可同时进行，缩短修炉时间。但其缺点是装卸炉底困难，需要专门的修炉设备（如修炉车、炉底车等）。在砌炉质量不能保证时，炉底与炉身接缝处容易漏钢。当炉底材质为铸钢件时，重量大，整个炉壳重心向下移动多，使空炉和老炉的重心下移，造成老炉空炉力矩及合力矩增大。“死炉底”的结构简单，重量较轻，刚度大，能够承受强的热应力和机械应力，生产安全，使用可靠，但修炉劳动条件较差，运砖不大安全，修炉时间长。目前，由于转炉使用了水冷装置，炉龄不断提高，又采用了机械化运送炉衬砖，故使炉内砌砖操作条件大有改善。因此，大型转炉采用“死炉底”愈来愈多。

二、转炉炉型主要参数及尺寸的确定

1. 转炉炉型主要参数及尺寸确定的依据

一个好的炉型及其最佳尺寸应满足以下要求：

(1) 在满足熔池搅拌的条件下，炉壁内表面与反应区之间尽量增大距离，以减小氧流反射二次动能对炉壁的冲刷。熔池直径越大，炉壁距氧射流就越远，炉衬的浸蚀就轻，炉龄长。由于熔池直径增大，钢液表面积相应增加，单位熔池表面积排出的气量体减少，这样不易产生激烈的喷溅，冶炼操作平稳，可以获得良好的指标。经验表明，熔池直径为氧射流与钢液表面接触时的直径（即冲击直径）的 $9\sim 10$ 倍时，可以得到好的吹炼效果。对于大型转炉，每公称吨位占有的熔池面积平均在 $0.11\sim 0.13\text{m}^2/\text{t}$ 左右较合适。

(2) 转炉除要满足装入量的要求外（特别对中小型转炉的合理超装），还须能提高供氧强度和适应供氧量的变化，以加速脱碳反应，缩短冶炼时间，从而提高炉子生产能力。这就要求转炉不但应有较大的反应空间，而且从熔池面到炉口还需保持足够的高度，以减少由于氧射流冲击熔池表面所造成的喷溅。对于大型转炉，其有效内高平均应为熔池深度的 $5.2\sim 5.3$ 倍左右为宜。

(3) 在满足炉容量的条件下，转炉熔池应有一个合适的深度（保持合理的熔池穿透深度比），以减少喷溅，保护炉底，满足钢液环流运动的要求。熔池太深，易产生喷溅，在设计工况氧压和枪位一定的情况下，熔池搅拌不够，钢液的成分和温度不均；熔池过浅，则熔池内搅拌条件亦差，化渣不好，反应不均匀，恶化了冶炼操作。对于大型转炉，其熔池深度平均为熔池直径的 $0.31\sim 0.33$ 倍。

(4) 炉体结构应轻便耐用，运转平稳，所需传动功率及电能消耗较低。这就要求转炉高宽比在一定范围内，在满足减少喷溅的条件下，力求小一些，炉型显得矮胖一点。

2. 转炉炉型主要参数及尺寸的确定

(1) 炉容比 系指转炉每吨公称容量占有的有效容积大小，即转炉的有效容积（指新炉的炉膛容积） V 与公称容量 T 的比值（ V/T ），其单位为 m^3/t 。另外还可用转炉每公称吨位占有的炉壳（内）容积（ V_0/T ）表示，单位亦为 m^3/t 。由于新炉衬在吹炼期中会不断浸蚀扩

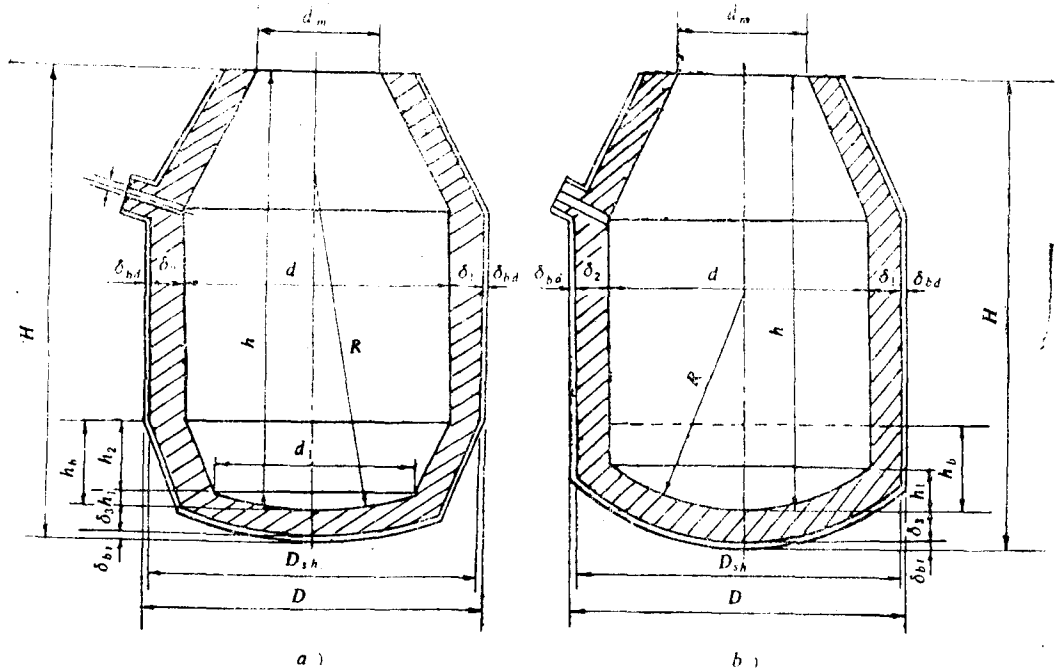


图9-7 顶吹转炉炉型尺寸
a) — 锥球型炉型; b) — 筒球型炉型

大，也有可能采取加厚或减薄炉衬的措施，因此新炉衬内容积并非固定不变，而炉壳内容积则不受这些因素的影响。所以，一些钢厂也同时列出了炉壳容积指标，特别是日本各厂以及其它一些国家的钢厂就是如此（见表9-2）。

炉容比是炉型设计以及衡量转炉技术性能的主要参数，它是决定炉子喷溅和炉衬寿命的重要因素。如果炉容比确定不当，将会带来一系列不良后果。炉容比应根据冶炼的钢种、铁水成分和配比、冶炼操作方法、供氧强度、喷头孔数等条件来确定，特别与供氧强度有关，而与炉容量几乎无关。例如铁水含Si、P、S高或铁水比增加，渣量增大，如用矿石作冷却剂则渣量更大，就要相应增加炉容比。当提高供氧强度时，转炉内的反应随之加速，喷溅和起泡也随之剧烈，则单位时间从熔池排出的CO气体量增加。同时，氧射流的冲击作用加剧。如果炉容比不够，必然造成大量的喷溅及溢渣损失，降低金属收得率。日本八幡厂转炉炉容

表9-2 日本及其它国家转炉炉型主要参数

公称容量 T (t)	内容积 (m ³)		炉容积 (m ³ /t)		炉型			主要尺寸			国家	厂名
	炉壳 V ₁	新衬 V	V ₁ /T	V/T	全高 H (m)	炉壳外径 D (m)	高宽比 H/D	炉膛内高 h (m)	炉膛内径 d (m)	内高内径 径比 h/d		
340	560	336	1.65	0.99	12.5	8.2	1.52	11.578	6.52	1.77	日本	新日铁·大分
300	—	321	—	1.07	11.7	8.6	1.36	10.858	6.752	1.61	日本	新日铁·户畑
300	500	300	1.67	1.0	11.07	8.5	1.30	10.083	6.742	1.50	日本	新日铁·君津
250	478	231	1.91	0.92	12.0	7.8	1.54	10.77	5.52	1.95	日本	钢管·扇岛
250	447	239	1.79	0.96	11.5	7.7	1.49	—	—	—	日本	住金·鹿岛
250	412	221	1.65	0.88	10.2	7.8	1.31	—	—	—	日本	新日铁·名古屋
220	417	241	1.90	1.085	10.465	8.0	1.31	9.40	6.332	1.48	日本	新日铁·君津
200	390	210	1.95	1.05	10.4	7.7	1.35	9.45	5.942	1.59	日本	神户制钢·加古川
180	331	176	1.84	0.98	9.45	7.4	1.28	8.605	5.64	1.53	日本	川铁·水岛
180	268	146	1.49	0.81	9.7	6.7	1.45	—	—	—	日本	钢管·福山
160	282	136	1.76	0.85	8.8	7.0	1.26	7.61	5.06	1.50	日本	住金·和歌山
150	273	152	1.82	1.01	8.67	6.66	1.3	—	—	—	日本	川铁·千叶
90	179	87	1.99	0.97	8.0	5.9	1.36	—	—	—	日本	日新制钢·具
150	—	125	—	0.83	8.7	7.0	1.24	7.64	5.14	1.49	苏联	西伯利亚
120	—	98	—	0.82	8.3	6.4	1.30	7.24	4.82	1.50	苏联	耶纳吉耶夫
300	—	240	—	0.80	11.245	8.10	1.39	9.895	6.30	1.57	西德	莱茵豪森
175	~350	161	2.0	0.92	9.66	7.3	1.32	8.36	5.30	1.58	西德	迪林根
150	275	127.5	1.83	0.85	9.52	6.82	1.40	8.19	4.86	1.69	西德	萨尔茨吉特
265	428	215	1.62	0.81	10.1	7.965	1.27	9.25	5.95	1.55	美国	扬氏顿
100	—	62	—	0.62	6.70	5.70	1.18	5.80	4.15	~1.4	美国	特伦顿

续表9-2

公 称 容 量 T (t)	内 容 积 m ³		炉 容 比 (m ³ /t)		全 高 H (m)	炉 壳 外 径 D (m)	炉 型	主 要 尺 寸			国 家 厂 名	
	炉 壳 V _s	新 衬 V	V _s /T	V/T				高 宽 比 H/D	炉 膛 内 高 h (m)	炉 膛 内 径 d (m)		内 高 内 径 比 h/d
280	500	252	1.79	0.9	11.67	8.16		1.43	10.77	6.36	1.69	法国 索尔迈·福斯
85	225	100	2.65	1.18	8.72	6.4		1.36	7.70	4.63	1.66	法国 蒙德维尔
150	290.4	130	1.94	0.87	8.992	6.93		1.30	8.00	5.13	1.56	罗马尼亚 加拉兹
180	300	150	1.67	0.83	9.610	7.004		1.37	8.60	5.496	1.56	阿根廷 索密沙
125	~264	111	2.11	0.89	9.58	7.2		1.33	8.16	5.20	1.57	卢森堡 艾什-别勒瓦尔
300	—	306	—	1.02	11.25	8.6		1.31	10.325	6.75	1.53	意大利 塔兰托
300	—	303	—	1.01	11.87	8.7		1.36	10.60	6.60	1.61	荷兰 胡高文斯

比与钢液收得率的关系如图9-8所示。但是炉容比也不能过大，以免炉体过重，增加倾动设备的功率；增大厂房高度以及增加耐火材料的消耗。

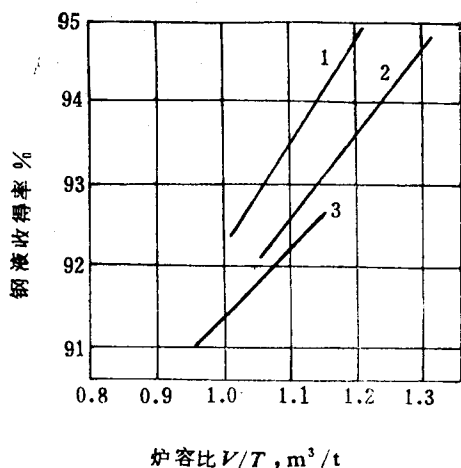


图9-8 炉容比与钢液收得率的关系
1—吹炼氧流量8000Nm³/min;
2—9000Nm³/min; 3—10000Nm³/min

一般来说，大型转炉采用多孔氧枪吹炼，操作平稳，控制较易，因此随着炉容量的增加，在原料及操作条件等相同的条件下，炉容比有所下降。据现有投产的80余座大型转炉的统计，通常波动在0.85~0.90m³/t之间。但是近几年来新建的250t以上的大型转炉，为了提高钢液收得率的基础上增大供氧强度，缩短吹炼时间，炉容比趋于增大，一般为0.9~1.05m³/t。根据我国设计部门的推荐和国内实际转炉的数据以及结合国外生产转炉的经验，对于金属料中铁水比≥90%及用废钢矿石冷却，采用冶标P08生铁，在供氧强度为3~3.5m³/t·min时，推荐的转炉炉容比见表9-3。

表9-3 转炉炉容比的推荐值

炉容量 (t)	小型转炉	大型转炉	大型转炉	
	<30	30~100	100~200	>200
炉容比(m ³ /t)	1.00~1.05	0.95~1.00	0.90~1.00	0.90~0.95

转炉炉容比还可采用如下的经验公式计算：

$$V/T = I/3 + (0.2 + 0.12\sqrt{100Si} + 0.15\sqrt{100P})\sqrt{C} - 0.1167 \quad (9-1)$$

式中：V/T——炉容比，m³/t；

I——平均铁水比（最大1.0）；

Si——铁水含硅量，%；

P——铁水含磷量，%；

C——吹炼期平均供氧强度，m³/t·min。

根据式（9-1）的计算，所绘的关系图见图9-4。

（2）高宽比 转炉高宽比（或高度直径比）是决定炉型形状的另一主要参数，即决定转炉是瘦长型还是矮胖型。它有两种表示方法：一种是炉子全高与其外径之比，以H/D表示；另一种是炉膛内高与其内径之比，以h/d表示。一般认为，采用后者较为合适。从吹氧动力学及转炉所特有的喷溅角度来讲，为减少机械喷溅和由泡沫渣引起的喷溅，转炉保持一

定的高度是非常必要的。然而转炉越高，必然会引起炉子倾动力矩增大及厂房增高，从而使投资费用增加。因此，转炉高宽比的确定既要满足吹炼要求，又要考虑节省建设费用。

生产实践证明，增加炉子高度是减少喷溅和提高钢液收得率的有效措施。通常炉子全高随炉容量的增大而增加，炉壳外径也相应增加。但转炉高宽比反而随炉容量的增大而减小，如图9-3所示。转炉高宽比之所以随炉容量增大而明显减小，主要与氧射流特性，特别是射流速度的衰减情况以及射流的股数有关。因为炉容量愈大，氧枪喷头孔数则愈多，亦即射流的股数愈多，势必造成喷孔与氧枪轴线的夹角愈大，射流速度的衰减就愈快，这样就造成与钢液接触的反应区数愈多，以及对钢液的穿透深度愈小，产生钢液和渣液的喷溅和起泡的程度也愈小。因此，大型转炉的高宽比可以小一些。生产实践证明，小于15t转炉以采用单孔氧枪为宜；大于30t转炉，应采用多孔氧枪，且其孔数随炉容量的增大而增加，一般为3~5孔，目前最多限于7孔以内。孔数过多的喷头，制造加工困难，且因为孔数增多致使枪位降低而严重影响喷头寿命。

转炉吹炼时形成的喷溅和起泡的高度不仅由氧射流的反作用冲击力产生，而且受到碳氧反应排出CO气体的鼓胀作用，因而和供氧强度关系很大，和炉容量也直接有关。一般转炉高宽比的经验公式为：

$$h/d = 2.65/T^{0.1} + 0.1C - 0.3 \quad (9-2)$$

式中： h/d ——转炉炉膛内高与其内径之比；

T ——转炉公称容量，t；

C ——吹炼期平均供氧强度， $\text{Nm}^3/\text{t}\cdot\text{min}$ 。

由式(9-2)计算所得曲线已绘于图9-3中。由该图可以看出，它与近期投产的生产指标良好的转炉是符合的。

我国设计部门推荐的转炉高宽比见表9-4。

表9-4 我国推荐的转炉高宽比

公称容量, t	≤6	12~30	50~80	120~150	>150
高宽比(H/D)	1.6~1.7	1.5~1.6	1.4~1.5	1.3~1.4	≥1.3

(3) 熔池尺寸 它的主要参数为熔池直径和熔池深度。通常是按炉子吹氧动力学的要求及其装入量确定(尤其前者是一个很重要的因素)，特别是下列因素影响较大：炉子的供氧强度及氧枪喷头孔数；氧射流的冲击直径及其对钢液的穿透深度。

1) 熔池直径 D_0 是指转炉熔池在平静状态时钢液面的直径。它可用式(9-5)进行计算，且与容量相近、生产条件相似、技术经济指标较好的炉子进行对比和适当调整后确定。

众所周知，转炉的吹炼时间 t_{bl} 与吹氧速率(即单位时间供氧量) Q_{O_2} 成反比，与炉子装入量 G_{Ca} 成正比，即：

$$t_{bl} \propto \frac{G_{Ca}}{Q_{O_2}} \quad (9-3)$$

因为单位时间内从熔池表面析出的气体量取决于吹氧速率，在吹氧速率为恒定的条件下，若减少熔池表面积，就会增大从单位熔池表面析出的气体量而使喷溅加剧。因此，为使炉子的喷溅程度不随吹氧速率增加而增大，就必须随炉容量的增大(吹氧速率随炉容量的增大而增

大)相应扩大炉子熔池直径以增加熔池表面积。故可以认为： Q_{O_2} 应与 D_b 的平方成正比，即：

$$Q_{O_2} \propto D_b^2 \quad (9-4)$$

将式(9-3)与式(9-4)合并得：

$$D_b \propto \sqrt{\frac{G_{Ch}}{t_{bl}}}$$

$$D_b = K_f \sqrt{\frac{G_{Ch}}{t_{bl}}} \quad (9-5)$$

式中： D_b ——熔池直径，m；

G_{Ch} ——金属装入量，t；

t_{bl} ——吹炼时间，min；

K_f ——系数。对于50t以下转炉， $K_f=1.85\sim 2.10$ ；50~120t， $K_f=1.75\sim 1.85$ ；200t， $K_f=1.55\sim 1.60$ ；250t以上， $K_f=1.50\sim 1.55$ 。

由此可见，只要金属装入量和吹炼时间确定，则可确定熔池直径。

转炉金属装入量随其装入制度而定。目前国内外氧气转炉的装入制度基本上可分为三种：定量操作——即炉役的前、中、后期装入量不变，炉役后期不超装。这种装入制度一般适用于大型转炉，它一方面可以保证转炉氧枪经常处于设计工况下工作，有利于氧射流对熔池的搅拌；另一方面由于大型转炉熔池在炉役前后期相对变化不大，采用定量装入制度，其熔池深度相对变化甚小。显然，这种装入制度有利于车间的生产组织调度工作，保证均衡生产。定深操作——定量操作法在炉役后期，由于熔池相对变化较大，致使熔池变浅（炉子愈小这种变化愈明显），甚至由于熔池太浅，炉底易于损坏或穿透。因此，为保证吹炼的正常进行，要按炉增大装入量，以保证熔池深度基本不变。显然，这种装入制度有利于满足炉子的吹氧动力学要求，但将会给生产组织调度工作带来很多困难。实际上难于组织正常生产。分阶段定量操作（又叫分阶段定深操作）——以定深操作为基础，但不是每炉增加装入量，而是把一个炉役期分为几个阶段，从新炉到老炉按不同阶段增加装入量，这样在炉役某一阶段内仍为定量操作。这种装入制度既基本上满足了炉子的吹氧动力学要求和使产量得以提高，又保证了熔池深度变化不大，有利于操作和生产组织。因此，它适用于中小型转炉。通常计算熔池直径时所用的金属装入量就是新炉装入量，其值可与公称容量相同的炉子基本一致。

吹炼时间除与铁水成分和所炼钢种有关外，主要取决于供氧强度。而随炉容量变化不大，特别是近年来多孔氧枪的应用（为了提高供氧强度以强化冶炼），使得大型转炉的吹炼时间与中小型转炉相差甚小。一般吹炼时间可按表9-5选取。

2)熔池深度 h_b 是指转炉熔池在平静状态时从金属液面到炉底（中心处）的深度，它

表9-5 推荐的转炉吹炼时间

公称容量,	t	<50	50~80	≥120
吹炼时间	min	12~16	14~18	16~20

注：一般容量小的转炉偏下限，容量大的转炉偏上限。