

炼铁计算辨析

LIANTIE JISUAN BIANXI

那树人 著



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

炼铁计算辨析

那树人 著

北 京

冶金工业出版社

2010

内 容 提 要

本书针对高炉炼铁工艺计算中的某些问题,如吨铁渣量的计算,风量与煤气量的计算,鼓风动能公式的表达,富氧率的概念、计算及富氧鼓风对高炉生产的影响,高炉焦比的计算,直接还原度的计算,炉热指数的计算等等,结合作者长期教学实践的心得和科学研究工作的成果,对这些计算进行了理论分析和算式推导,介绍了作者提出的计算方法,修正了某些文献在这些计算中存在的不够正确的理念和错误。本书还对 Rist 操作线进行了深入研究与正确拓展,完善和发展了高炉操作线理论。

本书力求系统与完善这些计算,使之概念清晰、原理正确、计算简便,把正确的炼铁工艺计算原则与方便实用的计算方法介绍给读者。

本书可作为钢铁冶金专业炼铁工艺课程的辅助教材,也可供从事高炉生产操作、炼铁设计和科学研究的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

炼铁计算辨析/那树人著. —北京:冶金工业出版社, 2010. 5

ISBN 978-7-5024-5217-9

I. ①炼… II. ①那… III. ①高炉炼铁—
计算—高等学校—教材 IV. ①TF531

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 045243 号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009

电 话 (010) 64027926 电子信箱 postmaster@cnmip.com.cn

责任编辑 王 优 宋 良 美术编辑 李 新 版式设计 孙跃红

责任校对 王永欣 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-5217-9

北京百善印刷厂印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销

2010 年 5 月第 1 版, 2010 年 5 月第 1 次印刷

148mm × 210mm; 12.875 印张; 379 千字; 384 页

40.00 元

冶金工业出版社发行部 电话: (010) 64044283 传真: (010) 64027893

冶金书店 地址: 北京东四西大街 46 号(100711) 电话: (010) 65289081

(本书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

序 言

那树人教授的又一部力作《炼铁计算辨析》就要问世了，这是作者关于炼铁工艺计算方面的系列写作。在他的前一本书《炼铁计算》里，用他的辛勤与智慧，努力把炼铁工艺计算系统与完善。《炼铁计算》成为冶金专业教学、炼铁厂生产及科学研究进行工艺计算时得力的参考书，获得了一致好评。本书是他在炼铁计算方面更高层次的深入，更为有力的探索，可谓攀上炼铁工艺计算的新高峰。

回顾炼铁生产技术的发展，炼铁工艺计算与之相随相伴、相互促进。由于生产工艺的不断发展，以及其他各种各样的原因，目前炼铁计算还不够完善，错误也常有发现，在一些经典著作中也是如此。那树人教授为了进行正确的炼铁计算，以自己丰富的理论和实践，撰写出这部三十多万字的专著《炼铁计算辨析》。他的这种开拓进取、勇于探索，对事业高度负责，敢于“辨析”的精神是难能可贵的，值得我们学习。

《炼铁计算辨析》一书，归纳总结了多部炼铁专业书籍、文献在工艺计算中存在的问题，给人以正确的概念和原理描述，以及正确的、简捷实用的计算方法。作者的工作是非常有益的，也是十分可贵的。发现炼铁计算中存在的缺点、错误，需要认真的研讨，同时也要有善于学习、掌握知识的睿智。那树人教授对炼铁计算长期深入研究，努力认真探索，取得了丰硕成果，形成了具有鲜明特色的计算体系与方法。书中的“关于高炉操作线的计算与拓展”、“关于高炉配料与炼铁焦比的联合计算”两节文字，前

者发展了高炉操作线理论，后者则把焦比的计算推进到更为现实和正确的程度，意义深远，更值得一读。那树人教授几十年如一日兢兢业业，辛勤耕耘，对炼铁计算精益求精，成绩显著，在我国炼铁界有重要影响，为推动我国炼铁技术的发展做出了贡献。

《炼铁计算辨析》全书文笔流畅，文风朴实，条理清晰；内容编排也构思精巧，颇具特色，堪称一部难得的佳作，相信会得到广大炼铁工作者的好评和称赞。

东北大学教授、博士生导师

杜鹤桂

2009年11月28日于沈阳

写在前面

一

2007年，笔者应邀参加某大型高炉的“专家系统与智能控制”课题组的工作，为他们审核并帮助建立所需要的炼铁工艺计算部分的软件程序，这可能是基于本人在这方面的工作成果。该课题组提供了高炉冶炼的配料计算、物料平衡计算、操作线计算、炉热指数计算等近十项计算的算式及计算结果，在逐一审核后发现都存在某些问题：由于缺少炼铁专业技术人员，有些工艺计算因为不懂或不甚理解而闹出“笑话”；也有些是由于所依照的参考文献上的算式本身有误。对于前面一类的问题，帮助改正是自己的责任；而后面一类的问题，应该提出，以引起炼铁界同仁的重视。

这项审核工作，也是笔者的一次学习机会。以往从事的冶金专业教学工作，多是对使用教材上的概念、公式及计算进行学习研究，为改进炼铁工艺计算做一些工作。这次是结合现场生产实际，理论应用于实践，既需多研读一些专业文献，又需要向现场科技人员请教、与其合作，因此是一种更高水准的学习。笔者在学习中发现了一些问题，对这些问题进行深入研究后，也有不少收获。这个“专家系统与智能控制”的课题工作为自己提供了一个学习、研究的平台，因此，笔者撰写的这本《炼铁计算辨析》，便是深入学习炼铁理论，努力把理论与生产实践紧密结合起来的一项成果。

二

在接触这个“专家系统与智能控制”课题的工艺计算中，笔

者归纳总结列出了十余个方面的问题，写出了“关于某些炼铁工艺计算的探讨”的短文，这算是笔者编写《炼铁计算辨析》一书的纲要。这里笔者又对其做了适当的修改、补充，把它放在正文前面，也算是阅读本书的“导引”。

在审核课题组提供的计算程序时，笔者发现他们依据、参考的算式存在不少问题，特别是那些常常用到的经典文献上的某些算式还存在错误（加之先前发现的某些问题）。虽然许多计算比较繁杂，但并非困难，可就是在这样的计算中，存在着或多或少的、有的还是较为严重的问题，着实应该引起人们的重视。笔者以为有必要“去伪存真，去粗取精”，把炼铁工艺计算中那些不够正确的以致错误的概念、公式纠正过来，把正确的计算公式、计算方法介绍给需要它的人们，因此，本书书名曰之“辨析”。当然，任何人编书写文章都不会十全十美，有所不足、有些错误也在所难免。但是，出于编著者的责任，应该尽量减少失误，力求圆满。为了炼铁工艺的正确计算，也为了炼铁工艺计算的正确，修正常用计算中存在的错误就是十分必要的了，这便是笔者编写《炼铁计算辨析》一书的初衷。

三

正如笔者以前说过，尽管高炉炼铁的历史已很悠久，炼铁技术日臻成熟，但是也还有很多值得研究的地方。这是人们认识自然，从必然王国走向自由王国的规律，是科学技术发展的规律。近年来，我国钢铁工业飞跃发展，为着不同的目的、适应不同的需要，各类炼铁科技理论书籍、文献应运而生，迅疾面世。但是也应该看到，在科技文献的出版上也还存在着浮躁的情绪。比如，高炉炼铁鼓风动能的概念、算式，凡含有炼铁理论的书籍都会有它的介绍与计算，笔者曾查阅十余种炼铁书籍（包括一些专业教材），能够完全无误介绍的却是少之又少。其实，鼓风动能算式的推导并不困难，但其表述和计算却存在许多问题，这其中有些认识

上的问题，也不排除摘抄转录、人云亦云所致。过去以工程压力计示鼓风压力，那时 1 标准大气压与 1kg/cm^2 （工程压力）近似相等（ $1\text{atm} = 1.033\text{kg/cm}^2$ ），而现时需要以“MPa”（或“kPa”）为单位表示鼓风压力，在表达鼓风动能算式时，有的作者还以“ $P_0 = 1$ ”代之（应该以 $P_0 = 0.1013\text{MPa}$ 代入），造成计算的失准。再如，对于高炉鼓风的富氧率概念和计算，现场存有两类不同的富氧率定义，炼铁专业教材中有多种不同的算式，这里面有些是不够科学合理的。富氧率是高炉炼铁中一个重要的参数，应该统一、规范为好。像这类问题常常见到，笔者认为教训应该汲取，错误不要再犯。著书立说是件神圣的事情，著作者要认认真真去写书。

四

在编写本书过程中，除了力求概念的准确、算式的正确外，还力求计算方法的简捷。笔者一向主张，对于炼铁计算该繁则繁、宜简则简；要把体现原理正确、计算简捷的方法、算式介绍给炼铁生产操作人员。例如，在高炉渣量的计算、风量与煤气量的计算上，笔者就是最主张这样做的。这些计算都不是太难的，只要掌握了它们的计算原则，可以有多种方法去算。对于生产现场来说，简便实用的方法是最受欢迎的。当然，从掌握高炉炼铁原理、融会知识、贯通计算来说，可以多介绍、多提出一些其他的计算方法和算式，但不宜把本来简单的东西搞得过于复杂繁琐。强调炼铁工艺计算的原理正确、方法简捷、结果精确，以及强调炼铁工艺计算的实用性，这也是本书的一种“风格”。

五

“知识”是没有国界的。Rist 操作线发端于上世纪六七十年代的法国，一经问世就很快传遍世界各地，它对炼铁理论的发展有

大的贡献。Rist 操作线富于哲理、寓意深邃，一旦人们明了其中的“真谛”，它就会像绿草一样到处萌生，在传播中再予以发展。在操作线提出当初，由于冶炼条件的局限它还不够完善。当高炉喷吹技术大力发展、喷吹燃料带入氢量增多后，初始的操作线不能适应这种情况下的计算。我国炼铁界曾提出考虑氢影响的 Fe-O-C-H 四元素的操作线图，但其拓展是不够成功的。笔者经深入研究，提出了两种拓展方法，即改变（修正）操作线 AE 之 A 点横坐标 X_A 或纵坐标 Y_A 的计算，而其他计算基本不变。按笔者的拓展方法进行计算，算出的结果能与高炉生产实际很好地吻合。可以说，笔者的工作是对高炉操作线理论的完善与发展。还有笔者新近完成的文章《关于高炉配料与炼铁焦比的联合算法》，也把这种方法的应用提高到正确、完善的程度。笔者认为，人类的财富应该人类共享，这本《炼铁计算辨析》就是要把笔者的工作展现给需要它的人们。如果笔者能对炼铁科技事业的发展做出一些有益工作，做出一点点贡献，便会感到无上荣光、无比欣慰。

六

在编写本书时，笔者选取了先前出版的《炼铁计算》（冶金工业出版社，2005 年 3 月出版）一书中的几段内容：高炉冶炼的配料计算与变料计算，气体平均热容的计算，煤气燃烧的计算及空气过剩系数的计算等等。这里不是单纯的引录，而是做了必要的调整、删节和增改，使之内容能与本书的主旨相协调。笔者选录这些内容的意图，一是这些计算属炼铁工艺基本的、常用的计算，掌握它们会大有益处；二是在这些计算中也同样存在着某些问题，需要引起人们的注意。

七

能够完成本书的编写，这里要特别感谢笔者的老师——尊敬

的东北大学杜鹤桂教授、邓守强教授，两位先生不辞辛苦、不吝赐教，为本书内容的撰写提出了许多宝贵的意见、建议。内蒙古科技大学卢虎生教授协助笔者工作，采用本书的内容建立计算机网络平台，开辟了它的应用新途径。包钢炼铁厂郝志忠高工、内蒙古科技大学赵团教授、王艺慈副教授参与了本书关于高炉鼓风动能、富氧率、直接还原度、炼铁焦比计算等部分内容的编写；笔者的研究生孙璐参加了炉热指数内容的编写，完成了高炉铁水含硅量预报的模型。还有笔者的子女也为本书的出版做了许多工作：那劼、李飞为本书内容的编排、例题的编程和计算花费了大量精力；那勔绘制了本书的全部插图，并参与了本书封面的设计，他的建筑美学知识和技能在这里也得到了良好体现。

所有这些卓有成效的工作，使得《炼铁计算辨析》一书能够顺利成编，这是作者难以用语言表达感激之情的。

本书获得了“内蒙古科技大学教材建设项目资助”，不尽感谢。

虽然如此，编写《炼铁计算辨析》一书仍觉时间仓促，不够周到、不够细致的地方以及不妥之处，欢迎广大读者批评指正。书名选用“辨析”二字，也是考虑一己观点，亦可能是一孔之见，只为“抛砖引玉”，以供讨论。

那树人

2009.3.28（初稿）

2009.10.30（终稿）

于包头 内蒙古科技大学

关于本书算式的几点说明

计算中用到算式，算式中各量的文字符号如何表示也是一个问题，为了能够正确理解和运用算式，使得计算结果正确无误，这里有必要做些说明。

(1) 本书名为《炼铁计算辨析》，是针对某些现行炼铁文献、书籍，在工艺计算中存在的一些错误或问题而写的，总共有 19 篇文章。文章长短不一，内容也不相同，它们各自成篇，具有相对的独立性，因此公式中表示同一个量的符号可能不同。例如，吨铁渣量有的以“ U ”表示，有时也写成了“ Z ”，尽管在本书付印前的终校时作者努力尽量统一成“ U ”，但可能还会有疏漏的地方。不管怎样，在笔者推导或给出的各条主要公式下面，都有对式中各项符号的注释，或者在上下行文中予以说明，细心读看便会明白其意义和用法。

(2) 本书作为“辨析”，取自其他文献中的算式较多，这些文献算式符号的表示多与现在流行的写法不尽相同。为了便于对照比较，使读者易于看出其错误所在，这里按原文的公式及注释引录，在推导正确的算式时也尽量采用原文的符号。因此，本书就难以有统一的算式符号，请读者理解，这也是不得已而为之的事情。

(3) 对于笔者提出的算式，遵照出版社编辑关于国标中有关量和单位符号使用规定方面的意见，尽量统一它们的符号，本书付印前对书稿做了又一次的修改，形成了如下的规则。假如 B 表示某物质，则：

物料 i 中 B 的质量写成 B_i ，如 $MnO_{2\text{矿}}$ 表示矿石中 MnO_2 的质量；

物料 i 中 B 的含量写成 $(B)_i$ ，如 $(MnO_2)_{\text{矿}}$ 则表示矿石中 MnO_2 的质量分数（含量）。

如果 B 为气体，其体积写成 V_B ，体积分数以 $\varphi(B)$ 表示，有时也写成了 (B) 。由于气体的摩尔分数与体积分数是一样的（不过多表示成小数），当表示成摩尔分数时写成 $n(B)$ 。

对于质量与含量符号的写法，编辑的建议恰与作者的习惯相左，

因此付印前的审校工作量较大，虽然笔者尽力去做，但还是担心有疏漏之处，恳请读者若有发现给予指正。

(4) 本书中常常用到高炉煤气成分 (CO 、 CO_2 、 H_2 、 CH_4 及 N_2)，它们是煤气中各组分的体积含量 (或体积分数)，因作者习惯使然 (其他文献上也常常如此)，煤气组分的含量就以其气体分子式表示，通常不缀以“g”或汉字“煤气”的下标，例如，煤气中氮气含量写成 (N_2)，有的地方写成了 $\varphi(\text{N}_2)$ (或 $n(\text{N}_2)$)；而鼓风成分要缀以下标“b”表示，如鼓风中氮气含量写成 (N_2)_b。

也属于这类问题，对于炼铁界人们约定俗成的或是一些特定的情况，如计算矿石氧化度的公式 $D = 1 - \frac{(\text{Fe}^{2+})}{3(\text{TFe})}$ ，这里的计算用到的一定是矿石的成分，而不是其他物料的成分，因此，笔者认为在公式的注释中提到了矿石的相应成分后，没有必要在公式的两项含量符号里再缀以“矿”的下标，在 Rist 操作线的图形表示和计算中也是这样。

(5) 在运用公式进行计算时，物质的含量 (质量分数) 怎样代入公式，这也是需要注意的问题。例如，计算每吨生铁因硅还原消耗的 SiO_2 数量，其算式是：

$$\text{消耗 SiO}_2 \text{ 的数量(kg)} = 1\text{t 生铁}(1000\text{kg}) \times \text{生铁含硅量}([\text{Si}]) \times$$

$$\text{SiO}_2 \text{ 相对分子质量}(60) \div \text{Si 相对原子质量}(28)$$

假定生铁含硅 0.7%，这时可以有下面算法

$$1) \text{SiO}_{2r} = 1000 \times 0.007 \times 60/28 = 15\text{kg}$$

$$\begin{aligned} 2) \text{SiO}_{2r} &= 1000 \times 0.7/100 \times 60/28 \\ &= 10 \times 0.7 \times 60/28 = 15\text{kg} \end{aligned}$$

第一种算法是将生铁含硅量 $[\text{Si}] = 0.7\%$ 以小数 0.007 代入进行计算；第二种算法是以百分数代入，但要除以 100，经演变成为后面的算式。其实前面算法就是以前的通常算法，按这种算法计算不会算错；而后面算法是经过演变，直接取用百分数的数值参与计算的，这种算法特别适合于计算机编程进行比较庞杂计算的情况。这种简化直观的算式是笔者常用的，在一些炼铁文献中也经常看到，这种算法可以写成下面的形式：

$$\text{SiO}_{2r} = 10 \times [\text{Si}] \times 60/28 \quad (\text{kg/t}) \quad (1)$$

在一些涉及生铁项的计算中，常常遇到含有“ $10 \times [\text{生铁成分}]$ ”的计算项，这时生铁中该元素的含量要直接代以百分数，而不能代以小数参与计算。

再如配料计算中列出的碱度方程那类算式：

$$R = \frac{A \times (\text{CaO})_{\text{矿}} + K \times (\text{CaO})_{\text{焦}} + M \times (\text{CaO})_{\text{煤}} + \Phi \times (\text{CaO})_{\text{熔}}}{A \times (\text{SiO}_2)_{\text{矿}} + K \times (\text{SiO}_2)_{\text{焦}} + M \times (\text{SiO}_2)_{\text{煤}} + \Phi \times (\text{SiO}_2)_{\text{熔}} - \text{SiO}_{2r}} \quad (2)$$

因有硅还原消耗 SiO_2 数量一项，运算时公式中矿石、焦炭、煤粉和熔剂的 CaO 和 SiO_2 含量，应该代以小数而不要代以百分数。若代以百分数，就需要在该项上再除以 100，这样就显得麻烦了。

如果由炉渣成分或组分数量计算炉渣碱度 $R = \frac{(\text{CaO})_{\text{渣}}}{(\text{SiO}_2)_{\text{渣}}}$ ，这是同一体系中的两个因素的比值，可同时采用它们含量的百分数去算，也可同时采用小数去算，还可用它们的质量去算，结果是一样的。

对于本书的算式，当物料成分需用百分数参与计算时，在算式符号的注释中笔者均加上了“%”的说明，而没有注明“%”的含量都应以小数参与运算。例如，对于样式 (1)，本书会写出“式中 $[\text{Si}]$ ——生铁的含硅量，%”的字样；而对于样式 (2)，会写出“ $(\text{CaO})_{\text{矿}}$ ——矿石中 CaO 含量”的字样。这是笔者的习惯，也应该成为一种规则。在有些文献里常将百分数与小数混淆甚至滥用，造成计算结果的失误，这应该引起人们的注意。

有了正确的公式，这是工艺计算首要的、根本的事情，计算时认真细心、不马虎大意也是重要的。对于一些公式中的含量（成分）项，什么情况下代以小数，什么情况下代以百分数，根据公式的内容、意义及规定，做出正确的选择不是困难的。

(6) 在炼铁工艺中常常遇到一些相对量的计算，例如生铁的含硫量、矿石的还原度、煤气利用率等等，有些是以百分数表示的，有些则以小数表示为宜。这里也提请读者注意，计算时要遵守导出公式时的条件或规定，例如，讨论影响铁水含硫量的公式：

$$[S] = \frac{S_{\text{炉料}} - S_{\text{煤气}}}{1 + n \times L_s} \quad (\%) \quad (3)$$

按规定的条件采用上面公式计算，得到的结果就是含硫量的百分数数值，而不要把它再变成百分数。凡属于此类以百分数表示的量，笔者在算式中都添加“（%）”以明示。如果得到的是小数而要变成百分数，则以下面形式出现：例如鼓风湿度“ $\varphi = 0.015 = 1.5\%$ ”，这里的百分号直接写出而不用括号括上，它们是等值的。

此次编写本书，因时间较短、书中涉及内容较广等方面的原因，算式符号的表示尚不够严谨规范，有待今后改进，还望读者谅解、指教。

目 录

导言 关于某些炼铁工艺计算的探讨	1
[1] 关于吨铁渣量的计算	6
1 计算渣量常用的方法	6
2 关于渣量的全平衡计算方法	8
2.1 关于进渣物质数量 MeO_i 的算式	9
2.2 四项中间变量 b_i 的计算及意义	14
2.3 关于核实系数 k_0 的算式	15
2.4 关于吨铁渣量的算式	16
3 算例	19
4 讨论	26
参考文献	28
[2] 关于吨铁风量与煤气量的计算	29
I 风量、煤气量常用的计算方法—— $[\text{C}, \text{O}]$ 、 $[\text{O}, \text{N}]$ 和 $[\text{C}, \text{N}]$ 的三种算法	30
1 风量、煤气量常用的计算方法	30
1.1 $[\text{C}, \text{O}]$ 法	30
1.2 $[\text{O}, \text{N}]$ 法	32
1.3 $[\text{C}, \text{N}]$ 法	33
2 算例	33
2.1 各元素收支项目及数量的计算	34
2.2 风量、煤气量的计算	37
2.3 三种计算方法的误差校核	38
3 讨论	40
II 关于风量和煤气量计算的“碳、氢氧化势比值法”	44
1 碳、氢氧化势比值法的风量、煤气量算式	45

1.1 几项基本参数的计算	45
1.2 几项气体数量的算式	46
1.3 风量、煤气量的算式	47
1.4 风量算式的推导	48
1.5 风量算式的另一种表达	49
2 算例	51
2.1 算例 1	51
2.2 算例 2	56
3 讨论	59
参考文献	63
[3] 高炉冶炼的配料计算与变料计算	64
1 配料计算方法	64
1.1 使用熔剂时的配料计算	65
1.2 不使用熔剂时的配料计算	70
2 其他配料计算方法的评介	73
3 高炉冶炼的变料计算	77
3.1 矿石成分变化时的变料计算	77
3.2 焦炭成分变化时焦炭量的调整	80
3.3 冶炼铁种改变时的变料计算	83
参考文献	86
[4] 关于生铁中碳、硫含量及矿石允许含磷量的公式	87
1 关于生铁含碳量公式	87
2 关于生铁含硫量公式	89
2.1 生铁含硫量公式的正确表达	89
2.2 某些表达有误的生铁含硫量公式	90
2.3 算例	92
3 关于矿石允许含磷量公式	94
3.1 矿石允许含磷量公式	94
3.2 算例及讨论	94

参考文献	96
[5] 关于碳的燃烧率的计算	97
1 关于焦炭燃烧率的概念与计算	97
2 关于碳的燃烧率的计算	99
2.1 采用煤气成分和鼓风成分计算碳的燃烧率	99
2.2 高炉喷煤情况下的焦炭燃烧率算式	101
2.3 某些焦炭燃烧率算式存在的失误	103
3 算例	104
4 讨论	107
参考文献	109
[6] 高炉富氧率的概念与计算	110
1 两类不同的富氧率概念及其算式	111
1.1 关于第一类富氧率	111
1.2 关于第二类富氧率	112
2 笔者提出的富氧率算式	114
2.1 富氧率算式	114
2.2 富氧后鼓风密度的计算	116
2.3 富氧率算式的特点	116
2.4 算例与讨论	117
3 富氧鼓风对高炉冶炼影响的有关计算	119
3.1 富氧率对风量、煤气量的影响	120
3.2 富氧率对高炉产量的影响	121
3.3 不同操作条件下所需鼓风含氧量的计算	123
参考文献	125
[7] 鼓风动能计算公式的评介	126
1 某些鼓风动能公式中存在的失误	126
1.1 一个经典公式, 虽然简捷但有错误	126
1.2 某些鼓风动能算式应予以修正的失误之处	129