

高 等 学 校 教 学 用 书

钢 冶 金

冶 金 工 业 出 版 社

高等学校教学用书

钢 冶 金

重庆大学 陈永彝 主编

冶金工业出版社

高等学校教学用书

钢 冶 金

重庆大学 陈永彝 主编

*

冶金工业出版社出版

(北京灯市口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

*

850×1168 1/32 印张 9 3/4 字数 256 千字

1980年7月第一版 1980年7月第一次印刷

印数00,001~7,000册

统一书号: 15062·3580 定价 1.25 元

前 言

本书系根据1977年冶金部教材工作会议制订的矿冶类专业教学计划和“钢冶金”教学大纲编写的。

本书适用于高等工科院校冶金类和机械类的金属学及热处理专业和金属材料专业，并可供有关科技人员参考。全书共十六章，其中炼钢原理部分五章，炼钢方法和工艺部分六章，铸锭及缺陷部分五章。本书主要包括炼钢过程中各元素的变化规律；各种炼钢方法的工艺特点；钢中有害杂质和浇注条件对钢材缺陷形成的影响以及合理选择冶炼方案的一般知识等内容。

本书由重庆大学陈永彝（一、二、三、八、九、十、十一章）、颜广庭（四、五、十二、十三、十四、十五、十六章）、何桂馥（六、七章）三同志合编。初稿完成后曾组织有关教师共同审阅，根据审校的意见反复作了修改。全书最后由陈永彝同志定稿，北京冶金机电学院孙荣亮同志协助审校。

限于编写水平，本书仍有不少缺点甚至错误之处，请读者给予批评和指正。

编 者

1979年10月

目 录

绪论	1
第一章 炼钢炉渣	4
第一节 液态炉渣的结构理论	5
第二节 炉渣的性质	8
第二章 炼钢基本反应	21
第一节 熔池传氧	21
第二节 炼钢熔池中元素的氧化次序	25
第三节 碳氧反应	28
第四节 硅的氧化和还原	35
第五节 锰的氧化和还原	38
第三章 钢中杂质元素的去除	42
第一节 脱磷反应	42
第二节 脱硫反应	49
第三节 脱氧反应	55
第四章 钢的凝固	66
第一节 钢结晶的基本规律	66
第二节 钢结晶过程的物理化学现象	70
第五章 钢中气体和非金属夹杂物	77
第一节 钢中气体	77
第二节 钢中非金属夹杂物	86
第六章 氧气顶吹转炉炼钢法	95
第一节 氧气顶吹转炉及其设备	95
第二节 顶吹转炉供氧特征	101
第三节 顶吹转炉吹炼工艺	106
第四节 顶吹转炉钢的性能	118
第七章 氧气底吹转炉炼钢法	121

第一节	氧气底吹转炉炼钢法的特点	121
第二节	氧气底吹转炉设备简介	122
第三节	氧气底吹转炉炉内反应特点	126
第八章	电弧炉炼钢法	131
第一节	炼钢电弧炉	131
第二节	碱性电弧炉炼钢法	138
第三节	酸性电弧炉炼钢特点	154
第四节	电弧炉炼钢的发展近况	158
第九章	感应炉炼钢及电渣重熔	167
第一节	感应炉炼钢法	167
第二节	电渣重熔	176
第十章	特种熔炼	195
第一节	真空感应熔炼	195
第二节	真空电弧重熔	203
第三节	电子束熔炼	209
第四节	等离子弧熔炼	216
第十一章	平炉炼钢法	223
第一节	平炉简介	223
第二节	平炉熔炼工艺特点	229
第三节	平炉用氧	238
第十二章	铸锭方法和设备	241
第一节	铸锭方法	241
第二节	铸锭设备	243
第十三章	镇静钢钢锭	249
第一节	镇静钢钢锭结构和偏析带	249
第二节	镇静钢的缺陷及防止方法	252
第三节	镇静钢浇注工艺	264
第十四章	沸腾钢及半镇静钢钢锭	268
第一节	沸腾钢钢锭	268
第二节	半镇静钢钢锭	275

第十五章	连续铸钢和压力浇注	279
第一节	连续铸钢.....	279
第二节	压力浇注.....	294
第十六章	钢液炉外处理	297
第一节	真空处理.....	297
第二节	钢包吹氩.....	301

绪 论

材料工业是国民经济中各类工业部门发展的基础。材料可分为金属材料和非金属材料两大类，金属材料（特别是钢铁材料）在现阶段仍占重要地位。改造自然，为使全部资源供人类所利用，唯有在钢铁生产迅速增长的基础上才能实现。

现代钢铁工业是一个庞大而复杂的综合生产部门。钢铁材料的生产包括采矿、选矿、烧结（球团）、炼铁、炼钢和轧钢等过程。由于各类钢材和合金材的质量主要决定于炼钢设备及其工艺过程，所以炼钢成为生产流程中的中心环节。

钢冶金的主要研究对象是：炼钢工艺过程的物理化学规律，钢的凝固和质量，各种炼钢设备及其冶金效果等。

1856年，底吹酸性（贝式麦）转炉炼钢法问世，是近代炼钢方法的开端。它为人类生产了大量的廉价钢，并促进了欧洲的工业革命。但是，酸性转炉不能去除硫和磷，其发展受到资源的限制。

1879年，在贝式麦法的基础上，出现了底吹碱性（托马斯）转炉炼钢法。这种方法使用碱性炉衬，以处理高磷生铁。

转炉炼钢以铁水为主要原料，对其成分有较严格的要求。而随着工业的发展，废钢积存较多。因此，在贝式麦法发明后不到十年，法国人马丁利用蓄热原理，于1864年首创平炉炼钢法。初期的平炉也是酸性的，1880年后才有碱性平炉出现。

碱性平炉炼钢法对金属炉料的要求不太严格，并可配入大量的废钢，而生产的品种又较多，加以炉容量较大，所以不到二十年便成为世界上主要的炼钢方法。从平炉出现后的 大约一百年来，世界年产钢量中平炉钢占85%左右。

工业发展对钢及合金的品种和质量提出了更多和更高的要求，加以电力工业的进步，大型发电机和变压器相继制成，故于1899年又出现了电弧炉炼钢法。

本世纪五十年代以后，氧气转炉的出现和快速发展，使炼钢工业发生了变革。六十年代是一个转折点，世界年产钢量中，转炉钢又一次超过了平炉钢。继1951到1952年 氧气顶吹转炉问世后，氧气底吹转炉也得到了发展。总之，近代氧气转炉已形成取代平炉的趋势。

同时，现代炼制高级优质钢及合金的主要方法——电炉炼钢法，在近几十年中也得到了相应的发展。目前，就电炉炼钢的设备和工艺而言，按电能转变为热能的方式，即电加热方法的不同，可分成下列几大类：

1. 电阻加热法 在直接与电源相连接的导体内，因导体的电阻而产生热能的设备统称为电阻炉。炼钢用的一种电阻炉叫电渣炉，电流从熔渣中通过，熔渣的高电阻产生大量的热，使其处于高温熔融状态，从而使金属熔化并得到精炼。

2. 电弧加热法 热能主要由电弧产生，常称为电弧炉。电弧炼钢炉为直接加热式，电弧发生在电极棒和炉料之间，炉料受到电弧的直接加热而熔化。其主要代表是三相炼钢电弧炉和单相真空自耗电弧炉。

3. 感应加热法 导体内由于电磁感应作用产生感应电流，感应电流因导体的电阻产生热能的设备通称为感应炉。炼钢常用的为无芯感应炉，若在真空状态下使用则称为真空感应炉。

4. 电子束加热法 由电子束撞击炉料产生热能的电加热法，其熔炼设备称为电子束炉。

5. 等离子加热法 电能由等离子弧转变成热能电加热法，其设备称为等离子炉。

此外，近年来，国外的超高功率大容量电弧炉和各种炉外精炼法等新设备和新工艺层出不穷，使电炉钢的比重逐步增长。

与此同时，在铸锭方面也出现了连续铸钢和压力浇注等新技术，并开始了对连铸连轧的探索和研究。

综观本世纪下半叶以来，由于工业技术的迅猛发展，尤其是随着宇航、能源和海洋开发而出现的近代尖端技术，对金属材料

的性能提出了愈来愈高的要求。其所要求的，集中表现在能耐高温、高压、高速、超低温和强腐蚀等方面。为此，科技工作者已经并将继续从下列两方面开展大量工作：

1. 研制新的钢种和金属材料 向钢中加入合金元素，使钢的组织 and 性能发生变化，从而形成在各种不同条件下使用的专门品种；

2. 采用新技术提高冶金质量 减少钢中气体和非金属夹杂物的含量，提高钢的纯洁度。改变锭坯的凝固条件，降低或消除其低倍组织缺陷，获得均匀致密的结晶组织。

第一章 炼 钢 炉 渣

炉渣是炼钢过程的必然产物。炉渣的来源有：金属炉料中各元素氧化所形成的氧化物；废钢带入的泥沙和铁锈等；氧化剂或冷却剂（铁矿石、烧结矿等）带入的脉石；被侵蚀的炉衬耐火材料以及加入的各种造渣材料（石灰或石灰石、铁矾土、萤石、废火砖块等）。

炼钢过程中炉渣的作用是极为重要的。一般说来，熔炼过程中炉渣和钢液直接接触，参与其间的物理化学反应和传热过程。通过对炉渣成分及其性能、数量的调整，可以控制金属中各元素的氧化和还原过程，例如硅、锰、磷的氧化和还原，脱硫和脱氧等。炉渣还能吸收钢液中的非金属夹杂物，并防止钢液吸收气体（氢和氮）。此外，电弧炉炉渣可以起到稳定电弧的作用；电渣炉炉渣作为电阻发热体，可起重熔和精炼金属的作用；浇注过程采用液体渣或固体渣保护，可改善钢锭质量。

表 1-1 炼钢炉渣一般化学成分范围

分 类	名 称	化 学 成 分, %							
		SiO ₂	CaO	FeO	MnO	P ₂ O ₅	MgO	Al ₂ O ₃	S
酸 性	平 炉 渣	50~60	2~10	10~40	10~30	—	—	4~8	—
	电弧炉渣	56~62	3~8	10~15	10~27	—	—	—	—
	保护浇注用液渣	50~55	20~25	<0.5	—	—	—	15~20	—
碱 性	侧 吹 转 渣	8~12	38~45	5~30	4~15	5~20	4~7	1~2	0.10~0.40
	顶 吹 转 渣	12~17	38~45	15~25	9~12	1~2	5~10	2~4	—
	平 炉 渣	5~25	30~55	5~40	4~15	1~4	3~12	0~4	0.05~0.30
	电弧炉氧化渣	8~15	40~50	12~30	5~7	0.5~2.0	8~10	1~2	—
	电弧炉还原渣	10~15	55~65	0.5~1.0	0.1~0.2	—	8~10	2~3	0.2~0.5
	合 成 渣	<4	55	<0.25	—	—	<4	42	—

炼钢炉渣按其性质可分为：酸性渣和碱性渣；氧化渣和还原渣。现将常见炉渣的一般化学成分范围列于表1-1。

第一节 液态炉渣的结构理论

炉渣的各种理化性质以及钢-渣界面的化学反应，都与炉渣的结构有关。

一、炉渣的分子理论

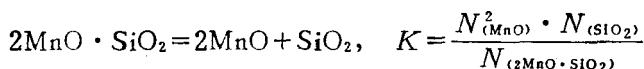
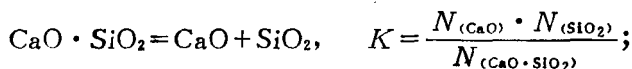
炉渣的分子理论以固态炉渣的化学分析和岩相分析为依据。采用偏光显微镜、X射线分析和渣粉的电磁分离等方法研究的结果指出，固态炉渣与岩石相似，都是由矿物组成的。

分子理论认为：炉渣中有两类氧化物——酸性的和碱性的，它们有化合成复杂化合物的趋势，渣中化合物分为硅酸盐、磷酸盐、铝酸盐、铁酸盐等。酸性和碱性氧化物生成化合物反应的平衡关系可以用平衡常数表示，其中一部分氧化物处于自由状态，即非化合状态。

分子理论的要点可归纳为：

(1) 炉渣由自由的氧化物分子和复杂的化合物分子所组成。自由氧化物分子有： CaO 、 MgO 、 MnO 、 FeO 、 Fe_2O_3 、 Al_2O_3 、 P_2O_5 、 SiO_2 等；复杂化合物分子主要有五种： $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$ 、 $2\text{MnO} \cdot \text{SiO}_2$ 、 $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ 、 $4\text{CaO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5$ 、 $3\text{CaO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5$ 。此外，还有硫化物： FeS 、 MnS 等。

(2) 氧化物分子和化合物分子之间的反应处于动平衡状态，例如：



随着温度的升高，分解程度增大，自由氧化物分子的浓度增高。

(3) 炉渣中只有自由氧化物才能参与化学反应，故凡以复杂化合物状态存在的，其氧化物的反应能力就低。

(4) 炉渣是一种理想溶液，渣-钢界面的化学反应服从质量作用定律。为此，常假设炉渣中存在某些化合物，使渣中自由氧化物的活度等于其浓度（摩尔分数）。

由此可知，分子理论的缺点在于从任意的假设出发，认为炉渣中存在着某些化合物是没有科学根据的，而且没有考虑到炉渣的电导和电解的过程。

虽然如此，但由于分子理论能够简单明了地解释钢-渣间的反应，在某些定量计算上得到的结果能够反映实际情况，加以由此推导的经验公式应用颇为方便，所以仍然经常被采用。

二、炉渣的离子理论

离子理论并不否认固态炉渣中有各种氧化物及其化合物的存在，但认为液态炉渣是由许多简单的和复杂的离子所构成的，质点间相互作用乃是离子间的相互作用，因而钢-渣间质点相互反应具有电化学性质。

炉渣离子结构理论的实验基础比分子理论丰富得多，现列举几项实验研究结果作为离子结构的根据：

(1) 对碱性和中性固体氧化物的X射线结构分析指出，它们都是由正负离子配位所构成的三度点阵结构；酸性氧化物虽不是由离子构成，但硅酸盐和磷酸盐却是由正离子和酸根负离子所构成的。

(2) 熔融炉渣能够导电，其电导数值与典型的离子化合物（熔融 NaCl 、 KCl 、 CdCl_2 等）相差不多，在一个数量级内。

(3) 熔融炉渣可以电解，并在阴极上析出金属。

(4) 对炉渣的表面张力、粘度及凝固点的研究指出，氧化物溶于炉渣时离解为离子。

因此，炉渣离子理论认为，炉渣是由带正、负电荷的离子所构成，液态炉渣结构与固态炉渣结构相差不多。

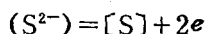
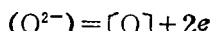
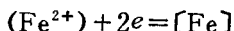
构成炉渣的金属氧化物，其金属是以正离子的形式存在，如 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Mn^{2+} 、 Fe^{2+} 等。氧在碱性炉渣中以 O^{2-} 形式存在，而当存在着Si、P、Al等元素时，则形成复杂负离子，如 SiO_4^{4-} 等。

此外，炉渣中还有 S^{2-} 、 F^- 、 OH^- 等离子。

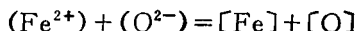
炉渣中最重要的酸性氧化物 SiO_2 ，根据其O/Si值不同可以形成多种复杂的硅氧负离子，例如， $Si_2O_3^{2-}$ 、 $Si_4O_6^{4-}$ 、 SiO_3^{2-} 、 $Si_2O_7^{4-}$ 、 SiO_4^{4-} 等。

磷和硅一样，由于O/P值不同，可以形成 PO_4^{3-} 、 $P_2O_7^{4-}$ 、 $P_4O_{10}^{6-}$ 等磷氧负离子。在很多情况下，铝能置换硅而生成铝酸盐和铝硅酸盐。因此铝也与氧形成铝氧负离子，例如 AlO_2^- 、 AlO_3^{2-} 、 $Al_3O_5^{3-}$ 等。

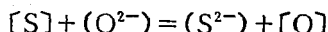
应用离子理论的观点，可以描述炉渣和金属两相间的平衡。现举出氧的溶解和硫氧反应为例说明之。设碱性炉渣与金属平衡时，铁、硫、氧三元素按下述反应分配于炉渣和金属相中：



于是渣中的氧溶解于钢中的反应为：



而钢渣之间的硫氧反应为：



炉渣离子理论指出了炉渣的一个重要特性，即离子本性，该性质可以用来解释多种冶金过程。在平衡计算中有时也要引入活度系数，并为此推导出一些简单炉渣中各氧化物活度系数公式，其所以如此是由于离子理论忽略了炉渣的分子本性——共价键的作用。

三、炉渣的分子离子共存理论

炉渣完全由离子所组成的假定还未得到充分证明，相反，某些事实却说明炉渣中同时存在着分子和离子。

许多固态氧化物，除了离子键外，还有相当数量的共价键。当温度升高时，氧化物由固态转变成液态进而为气态，化合物的共价键总有一定程度的增加，当成为蒸汽时，总是成为共价键气体分子。可见，液态炉渣的“分子性”应比固态炉渣大。

碱金属和碱土金属氧化物能够很好地导电，相反， SiO_2 或 Al_2O_3 的熔体实际上不导电， Al_2O_3 - SiO_2 熔体的导电度也非常低。这就表明不是所有炉渣都可作为电解质。

曾用放射性同位素 Ca^{45} 和 P^{32} 研究过在含39.4% CaO 、21.2% Al_2O_3 和38.8% SiO_2 以及30% CaO 和69.5% P_2O_5 两种炉渣中钙和磷的扩散系数，发现它们的扩散系数为同一数量级。若磷以 PO_4^{3-} 形式在渣中扩散，则其扩散系数应当小得多。这就说明磷是以不带电的形式，即结合成分子扩散的。

总之，碱金属和碱土金属的氧化物具有离子键结构，酸性氧化物是以共价键占优势的结构，而复杂化合物则具有混合键结构。

因此，分子离子共存理论，或者说炉渣中含有未分解化合物的离子理论，其要点有三：

(1) 炉渣由简单的正离子(如 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Fe^{2+} 、 Mn^{2+} 等)、负离子(如 O^{2-} 、 S^{2-} 、 F^- 等)、未离解的氧化物(如 SiO_2 等)和化合物分子(如硅酸盐、磷酸盐、铝酸盐等)所组成。

(2) 渣中离子和分子之间的反应处于动平衡状态。

(3) 炉渣内的化学反应符合质量作用定律。

第二节 炉渣的性质

炉渣主要的化学性质包括炉渣的碱度和氧化能力，而其物理性质则主要有粘度、流动性，表面张力和界面张力。

一、碱度

炉渣碱度是渣中碱性氧化物和酸性氧化物浓度之比，它是炉渣化学性质的主要指标之一。例如，碱性渣的去磷和去硫能力的大小主要取决于炉渣碱度的高低。

炉渣碱度常用符号 R 和 V 代表，其表示方法很多。最简单的表示法是：在熔池含磷量不高时，取渣中最强的碱性氧化物(CaO)与最强的酸性氧化物(SiO_2)的重量百分数或其摩尔数，摩尔分数之比，即：

$$R = \frac{(\% \text{CaO})}{(\% \text{SiO}_2)}; R = \frac{n_{(\text{CaO})}}{n_{(\text{SiO}_2)}}; R = \frac{N_{(\text{CaO})}}{N_{(\text{SiO}_2)}}$$

应当指出,计算 $N_{(\text{CaO})}$ 和 $N_{(\text{SiO}_2)}$ 时,必须知道炉渣成分的全分析,才能先算出炉渣总的摩尔数(Σn),以 M 表示氧化物的分子量,则

$$\begin{aligned} \Sigma n &= n_{(\text{CaO})} + n_{(\text{SiO}_2)} + n_{(\text{MnO})} + n_{(\text{P}_2\text{O}_5)} + \dots \\ &= \frac{(\% \text{CaO})}{M_{\text{CaO}}} + \frac{(\% \text{SiO}_2)}{M_{\text{SiO}_2}} + \frac{(\% \text{MnO})}{M_{\text{MnO}}} + \frac{(\% \text{P}_2\text{O}_5)}{M_{\text{P}_2\text{O}_5}} + \dots \end{aligned}$$

由此,
$$N_{(\text{CaO})} = \frac{n_{(\text{CaO})}}{\Sigma n}; N_{(\text{SiO}_2)} = \frac{n_{(\text{SiO}_2)}}{\Sigma n}$$

由于碱度是一个比值,故

$$\frac{N_{(\text{CaO})}}{N_{(\text{SiO}_2)}} = \frac{n_{(\text{CaO})}/\Sigma n}{n_{(\text{SiO}_2)}/\Sigma n} = \frac{n_{(\text{CaO})}}{n_{(\text{SiO}_2)}}$$

这就是说,实质上用摩尔数或摩尔分数表示的碱度是相等的。

如果渣中 P_2O_5 含量较高,应当考虑到它对碱度的影响。此时,碱度可用下列诸式之一来表示:

$$\frac{(\% \text{CaO})}{(\% \text{SiO}_2) + (\% \text{P}_2\text{O}_5)} \text{——渣中 } (\text{P}_2\text{O}_5) \text{ 的作用与 } (\text{SiO}_2)$$

等值,最为简便。

$$\frac{(\% \text{CaO}) - 1.18 \cdot (\% \text{P}_2\text{O}_5)}{(\% \text{SiO}_2)} \text{——渣中稳定化合物定为}$$

$3\text{CaO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5$, 则 $3\text{CaO}/\text{P}_2\text{O}_5$ 之值为1.18, 其意义为一份 P_2O_5 需要1.18份 CaO 与之化合成 $3\text{CaO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5$ 。

$$\frac{(\% \text{CaO})}{(\% \text{SiO}_2) + 0.634 \cdot (\% \text{P}_2\text{O}_5)} \text{——认为渣中稳定化合物是}$$

$3\text{CaO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5$ 和 $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, 则与 6CaO 化合时, $2\text{P}_2\text{O}_5$ 的作用与 3SiO_2 相当, 故 $3\text{SiO}_2/2\text{P}_2\text{O}_5$ 之值为0.634, 其意义为一份 P_2O_5 相当于0.634份 SiO_2 。

$$\frac{N_{(\text{CaO})} - 4N_{(\text{P}_2\text{O}_5)}}{N_{(\text{SiO}_2)}} \text{——摩尔分数, 假定渣中稳定化合物为}$$

$4\text{CaO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5$ 。

例 炉渣成分(%)： CaO 54， SiO_2 18， P_2O_5 2；用不同的碱度表示法计算其碱度如下：

$$\frac{(\% \text{CaO})}{(\% \text{SiO}_2)} = \frac{54}{18} = 3$$

$$\frac{n_{(\text{CaO})}}{n_{(\text{SiO}_2)}} = \frac{54/56}{18/60} = 3.2$$

$$\frac{(\% \text{CaO})}{(\% \text{SiO}_2) + (\% \text{P}_2\text{O}_5)} = \frac{54}{18 + 2} = 2.7$$

$$\frac{(\% \text{CaO}) - 1.18 \cdot (\% \text{P}_2\text{O}_5)}{(\% \text{SiO}_2)} = \frac{54 - 1.18 \times 2}{18} = 2.9$$

$$\frac{(\% \text{CaO})}{(\% \text{SiO}_2) + 0.634 \cdot (\% \text{P}_2\text{O}_5)} = \frac{54}{18 + 0.634 \times 2} = 2.8$$

$$\frac{N_{(\text{CaO})} - 4N_{(\text{P}_2\text{O}_5)}}{N_{(\text{SiO}_2)}} = \frac{54/56 - 4 \times 2/142}{18/60} = 3.0$$

碱性渣按其碱度大小，一般可分三级：

低碱度渣（具有酸性渣特征）； $R = 1.3 \sim 1.5$ ，其中 CaO 35~40%， SiO_2 25~30%。

中碱度渣： $R = 1.8 \sim 2.2$ ，其中 CaO 40~45%， SiO_2 20~25%。

高碱度渣： $R \geq 2.5$ ，其中 CaO 45~60%， SiO_2 12~20%。

二、氧化能力

炉渣向金属熔池传氧的能力称为炉渣的氧化能力。

生产实践中常用的表示氧化能力的方式为渣中总的氧化亚铁含量($\% \Sigma \text{FeO}$)，它可由渣中总铁量($\% \Sigma \text{Fe}$)，或由渣中低价和高价铁换算而得：

$$(\% \Sigma \text{FeO}) = 1.29 \cdot (\% \Sigma \text{Fe}) = (\% \text{FeO}) + 1.35 \cdot (\% \text{Fe}_2\text{O}_3)$$

式中 1.29—— $\text{FeO}/\text{Fe} = 72/56 = 1.29$ ；

1.35—— $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Fe} = 3\text{FeO}$ ，

$$3\text{FeO}/\text{Fe}_2\text{O}_3 = 216/160 = 1.35。$$