

閃速煉鋼

SHAN SU LIAN TONG

总第20·21期

1990	4	合 刊
1991	1	

贵溪冶炼厂

3199
42

闪 速 熔 炼

(过程的分析、控制和最佳化)

1987年第一版

W.G.DAVENPORT
E.H.PARTELPOEG 著

周荣华 译
黄毓英 校

贵溪冶炼厂档案馆情报室

1990年·贵溪

閃速煉鋼

一九九〇年第四期（总第二十、二十一期）

一九九一年第一期

• 内部资料 注意保存 •

编辑出版 贵溪冶炼厂档案馆情报组

（地址：江西省贵溪县）

印刷 江西省地质测绘印刷厂

出版日期 一九九〇年十二月

402



前 言

由于作者曾对最早建立的加拿大安大略省萨德巴利因科闪速熔炼厂和芬兰哈里亚瓦尔塔闪速熔炼厂进行过系统的调查研究，因而在七十年代初期就开始关注着闪速熔炼的发展；尔后，则把研究世界各地的各种闪速炉作业作为自己专业领域的一部分和个人的一种兴趣。

我们密切注视着闪速炉并对它特别感兴趣的原因是：（a）闪速炉将其原料（Cu-Fe-S精矿）氧化，提供生产所需的部分或全部能量；（b）闪速炉生产方式可多种多样（例如：使用氧气鼓风的自热熔炼；空气鼓风辅助矿物燃料熔炼）；这主要取决于工厂的生产目标；（c）闪速炉沿着加拿大的因科法和芬兰的奥托昆普法两种截然不同的技术路线发展。

闪速熔炼的这些特点吸引着作者详细地去研究它并著述此书。

本书包括两个主要部分：一是叙述部分（1~3章）。在概述了闪速熔炼的生产过程之后，专题叙述了奥托昆普和因科（Inco，即：国际镍公司）闪速熔炼。二是计算部分。我们导出一种数学方法来描述闪速熔炼过程。本书的重点是在后一部分。

在后一部分中，作者设计了一系列的物料平衡和热量平衡方程，用来描述在自热或接近自热熔炼条件下的稳态熔炼过程；进而用这些方程式确定欲达到某一预定熔炼目标所需的鼓风量、熔剂用量和燃料加入量。例如，在1500K温度下，处理CuFeS₂精矿，产出60%Cu的冰铜。这些方程式也用来确定精矿成分、鼓风温度、产出烟尘等因素的影响。最后，这些方程式还用作闪速熔炼过程最佳化及控制的依据。

本书通篇是用举例计算的方法来说明各种概念。并通过每章结尾的习题加以巩固（习题答案详见附录）。

本书的各种计算式已应用于几座工业闪速炉的生产控制和最佳化，并希望这些计算式能作为其它闪速炉设计和控制的基础。作者还希望本教材及其习题能用于亚利桑那州大学有色冶金课程的铜熔炼部分，也希望在其它地方使用本教材和习题。

片	，	有	還	，	圍	死
這	不	一	于	主	起	了
會	怕	種	說	妻	未	，
的	生	錯	理	却	，	人
腦	人	話		正	雨	們
，	，	的	却	在	個	固
閃	大	速	速	不	銅	然
煉	叫	刻	未	夢	板	要
，	大	信	速	她	看	看
然	跳	：	其	作	一	圖
而	的	溫		麼	下	我

编者按：刊名《闪速炼铜》四字，是我们从《鲁迅手稿选集四编》（北京鲁迅博物馆编，文物出版社1975年8月出版）中觅得的。这四个字分别取自《忆韦素园君》、《从孩子的照相说起》、《“中国新文学大系”小说二集序》及《“京派”和“海派”》四篇文稿。十分凑巧，该书收印文稿二十四编，约30万字，“闪”、“速”、“炼”、“铜”四字竟依次出现，而且都只出现一次。

閃速煉鋼

一九九〇年第四期（总第二十、二十一期）

一九九一年第一期

• 内部资料 注意保存 •

編輯出版 貴溪冶煉廠檔案館情報組

（地址：江西省貴溪縣）

印 刷 江西省地質測繪印刷廠

出版日期 一九九〇年十二月

40元

目 录

前言	
第一章 闪速熔炼	1
1.1 产出物	2
1.2 原料	4
1.3 化学反应	5
1.4 杂质行为	6
1.5 工业闪速熔炼及其作业	7
1.6 闪速熔炼的新进展	8
1.7 闪速熔炼的竞争能力	9
1.8 小 结	11
建议读物(译文略,下同)	
参考文献(译文略,下同)	
习 题	12
第二章 奥托昆普闪速熔炼	13
2.1 奥托昆普闪速炉	13
2.2 辅助设备	18
2.3 操作	21
2.4 控制方法	23
2.5 80年代奥托昆普闪速熔炼的主要发展趋势	24
2.6 其它发展	25
2.7 小 结	25
习 题	26
第三章 因科闪速熔炼	27
3.1 炉子结构	29
3.2 辅助设备	30
3.3 操作	31
3.4 因科闪速熔炼的控制方式	32
3.5 80年代因科闪速熔炼的新发展	34
3.6 小结	34
习 题	35
第四章 闪速熔炼的数学描述	36
4.1 基本方程式—物料平衡和热平衡方程	36
4.2 炉料和产物特征	37
4.3 应用于闪速熔炼的金属平衡和热平衡, 例题	38

4.4	方程(4.2)~(4.7)的应用式	39
4.5	4.3节例题的解	43
4.6	讨论	44
4.7	小结	44
	习 题	45
第五章	混合矿物精矿(炉料)—含Cu-Fe-S-O-SiO₂的矿物	46
5.1	例题	46
5.2	矿物在物料平衡方程和热平衡方程中的表述	46
5.3	计算矩阵和计算结果	48
5.4	讨论	49
5.5	小结: Cu-Fe-S-O-SiO ₂ 物料综述	49
	习 题	50
第六章	奥托昆普闪速熔炼—闪速炉鼓风中氮的作用	51
6.1	例题	51
6.2	氮方程	52
6.3	热平衡方程的修正	52
6.4	计算矩阵中的氮	53
6.5	计算结果	53
6.6	讨论	54
6.7	小结	54
	习 题	55
第七章	闪速炉鼓风的预热	56
7.1	例题	56
7.2	结果	57
7.3	鼓风预热能量—热风的另一种表示法	58
7.4	例题与计算矩阵	58
7.5	讨论	60
7.6	小结	62
	习 题	62
第八章	闪速熔炼的矿物燃料燃烧	63
8.1	矿物燃料燃烧例题	63
8.2	碳和氢的新平衡方程	63
8.3	矿物燃料量的规定值	64
8.4	氧平衡方程修正	64
8.5	热平衡方程修正	64
8.6	计算矩阵结果	65
8.7	讨论	67
8.8	小结	67
	习 题	67

第九章 生产规定品位 (60% Cu) 冰铜的方案选择	69
9.1 目的	69
9.2 计算	71
9.3 结果	72
9.4 讨论	73
9.5 烟气体积	73
9.6 闪速炉的最大熔炼速率	74
9.7 小结	75
习 题	75
第十章 生产规定品位 (60% Cu) 冰铜的能耗和工业氧气量	77
10.1 计算矩阵的修正	77
10.2 结果	79
10.3 节能	81
10.4 能耗计算	81
10.5 生产 (60% Cu) 冰铜的最低能耗	81
10.6 讨论	82
10.7 小结	82
习 题	82
第十一章 冰铜品位对稳态熔炼的能耗和工业氧气量的影响	84
11.1 计算与结果	84
11.2 冰铜品位对重油、鼓风预热能量和工业氧气量的影响	85
11.3 冰铜品位影响的实质	86
11.4 重油、工业氧气、鼓风预热能量的相互替换	86
11.5 闪速炉的最低能耗	87
11.6 小结	87
习 题	88
第十二章 精矿组成对熔炼一定品位冰铜的影响—$\text{CuFeS}_2\text{-FeS}_2$系和 $\text{CuFeS}_2\text{-Cu}_2\text{S}$系	89
12.1 $\text{CuFeS}_2\text{-FeS}_2$ 系	89
12.2 计算类型和计算矩阵	89
12.3 $\text{CuFeS}_2\text{-FeS}_2$ 系: 精矿组成对熔炼60% Cu冰铜的能耗和氧气量的影响	92
12.4 $\text{CuFeS}_2\text{-FeS}_2$ 系: 熔炼60% Cu冰铜时精矿组成对渣率的影响	92
12.5 $\text{CuFeS}_2\text{-FeS}_2$ 系: 熔炼60% Cu冰铜时精矿组成对 SO_2 气体量的影响	93
12.6 $\text{CuFeS}_2\text{-FeS}_2$ 系: 熔炼60% Cu冰铜时精矿组成对烟气量的影响	93
12.7 对精矿组成影响的总估计	94
12.8 $\text{CuFeS}_2\text{-Cu}_2\text{S}$ 系	95
12.9 小结	95
习 题	96
第十三章 闪速炉烟尘及其循环	97
13.1 闪速炉烟尘的特性	97

13.2	闪速炉烟尘发生率及其循环的矩阵计算法	97
13.3	计算和讨论	100
13.4	烟尘不循环	103
13.5	将烟尘量表示为烟气量的函数	104
13.6	烟气量和烟尘量	105
13.7	小结	108
	习 题	108
第十四章	炉温、炉子热损失和矿物燃料	110
14.1	熔炼温度对闪速炉能耗和氧气需要量的影响	110
14.2	传导、对流和辐射热损失对闪速炉能耗和氧气需要量的影响	112
14.3	矿物燃料—碳和氢	113
14.4	输入闪速炉的电能	117
14.5	小结	118
	习 题	120
第十五章	进入闪速炉中的水	121
15.1	液态 H_2O 对闪速熔炼的影响—漏入炉中的水	121
15.2	精矿和熔剂中的液态 H_2O	123
15.3	鼓风湿度	125
15.4	小结	129
	习 题	129
第十六章	次要物料及其对闪速熔炼的影响	130
16.1	返回闪速炉的转炉渣	130
16.2	次要氧化物	132
16.3	碳酸盐和氢氧化物	136
16.4	闪速炉炉料中的次要硫化物	139
16.5	闪速熔炼化学忽略的方面—炉渣中的Cu和S	141
16.6	炉渣中的 Fe_3O_4 液	143
16.7	冰铜中的 Fe_3O_4 液	146
16.8	小结	148
	习 题	150
第十七章	闪速吹炼	151
17.1	P—S转炉吹炼	151
17.2	闪速吹炼	153
17.3	闪速吹炼的优点	154
17.4	闪速吹炼的能耗	154
17.5	闪速吹炼计算矩阵	155
17.6	计算结果：闪速吹炼的鼓风成份、鼓风温度和燃料需要量	158
17.7	闪速吹炼的能耗和氧气需要量	159
17.8	闪速吹炼的烟气量	160

17.9	闪速吹炼与 P-S 转炉吹炼的能耗比较	161
17.10	闪速吹炼的可能性	161
17.11	闪速熔炼与闪速吹炼工艺的最佳冰铜品位	163
17.12	三菱熔炼-吹炼法——一种替代闪速熔炼-闪速吹炼的工艺方法	166
17.13	小 结	167
	习 题	168
第十八章	闪速炉直接炼铜	169
18.1	1987年的单台闪速炉炼铜	169
18.2	闪速炉直接炼铜的计算	171
18.3	铜在粗铜和炉渣中的分配	173
18.4	闪速炉直接炼铜的能耗	173
18.5	闪速炉直接炼铜能耗与闪速熔炼/闪速吹炼能耗的比较	174
18.6	精矿组成对闪速炉直接炼铜能耗的影响	175
18.7	从炼铜炉渣中回收铜的效率和能耗	175
18.8	熔炼粗铜和从炉渣中回收铜的综合能耗	177
18.9	杂质问题	179
18.10	小 结	179
	习 题	179
第十九章	闪速炉的控制	180
19.1	闪速炉的温度控制	180
19.2	计算准备: 传导、对流、辐射热损失	181
19.3	调节温度的方法	181
19.4	人机对话温度调节程序	183
19.5	以重油燃烧量为调节参数的温度控制回路	185
19.6	冰铜品位的控制	186
19.7	冰铜品位的单独控制回路	187
19.8	炉渣组成控制回路	189
19.9	精矿装入量变更的调节	189
19.10	小 结	190
	习 题	190
第二十章	闪速熔炼的最佳化	192
20.1	线性规划最佳化	192
20.2	最佳化问题示例	193
20.3	目标函数	193
20.4	计算及其结果	195
20.5	低价燃料的影响	195
20.6	鼓风温度约束对闪速炉最低能源费用的影响	197
20.7	生产率约束对最低能源费用的影响	197
20.8	最佳冰铜品位	200

20.9 小 结	202
习 题	203

附 录

附录 I 与闪速熔炼有关的各种矿物和化合物的化学计算数据	205
附录 II a 各种物质在298k时的热焓 (H°/MW), $\times 10^6$ 焦耳/公斤	206
附录 II b 熔炼产物在1400、1500、1600和1700k时的热焓 (H_T°/MW), $\times 10^6$ 焦耳/公斤	20
附录 II c 氮和氧在298k-1300k时的热焓	208
附录 III 关于煤和天然气的计算	208
附录 IV 总燃烧热	212
附录 V $\text{CuFeS}_2 - \text{Cu}_2\text{S}$ 系	213
附录 VI 40% $\text{Cu}_2\text{S} - 60\% \text{CuFeS}_2$ 系精矿的非自热熔炼	213
附录 VII 闪速吹炼和P-S转炉吹炼的能耗	215
附录 VII a Pb-Fe-S精矿的闪速熔炼	217
附录 VII b 闪速炼铅习题	222
附录 VIII a 硫化镍精矿的闪速熔炼	222
附录 VIII b 闪速炼镍习题	227
习题答案	228
索引: 从略	

第一章 闪速熔炼

闪速熔炼是一种熔炼金属硫化物精矿的火法冶金工艺。此法主要用于熔炼硫化铜精矿。但在熔炼硫化镍精矿方面，也应用得相当普遍（请参看图1.1）。此外，对于处理硫化铅精矿的实例，虽然已进行过试验，但并未获得应用。本书主要是讨论闪速炼铜。为了进行比较，也论及了镍和铅的闪速熔炼（附录Ⅳ及Ⅴ，表2.1），但都很简略。

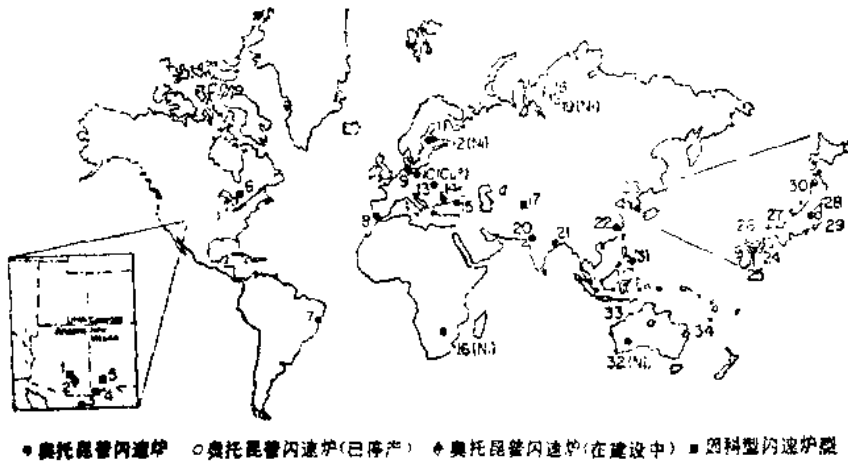


图 1 世界闪速炉的位置分布图

1、美国熔炼和精炼公司 (Inco型闪速炉)	海登冶炼厂	美 国	1983
2、玛格玛铜业公司	圣马诺尔冶炼厂	美 国	正在建设中
3、墨西哥一科伯公司	埃尔塔约冶炼厂	墨西哥	1986
4、菲尔普斯道奇公司	伊达尔戈冶炼厂	美 国	1976
5、奇诺矿业公司(内科型闪速炉)	赫尔利冶炼厂	美 国	1984
6、国际铜公司 (内科型闪速炉)	萨德巴利冶炼厂	加拿大	1953
7、卡拉伊巴金属公司	卡马卡里冶炼厂	巴 西	1982
8、里奥廷托矿业公司	韦尔发冶炼厂	西班牙	1975
9、北德精炼公司	汉堡冶炼厂	西 德	1972
10、K.G.H梅季公司 (直接炼铜)	格沃古夫冶炼厂	波 兰	1978
11、奥托昆普公司	哈里亚瓦尔塔冶炼厂	罗 马 尼 亚	1949
12、奥托昆普公司(镍)	哈里亚瓦尔塔冶炼厂	罗 马 尼 亚	1959
13、化学冶金联合公司	巴亚·马雷冶炼厂	罗 马 尼 亚	1986
14、MDK.G塔米亚诺夫公司	斯雷特诺戈里冶炼厂	保 加 利 亚	正在建设中
15、卡拉敦尼兹·巴奇尔·伊斯勒特米勒里公司	萨姆松冶炼厂	土 耳 其	1973
16、巴受瓦托特丹有限公司(镍)	塞莱比一皮克威冶炼厂	南 非 瓦 纳	1973
17、阿尔马累克铜冶炼厂(内科型闪速炉)	阿尔马累克冶炼厂	埃 及	1968
18、诺里尔斯克矿冶联合企业	诺里尔斯克冶炼厂	苏 联	1981
19、诺里尔斯克矿冶联合企业(镍)	诺里尔斯克冶炼厂	苏 联	1981
20、印度斯坦铜业有限公司	凯特里冶炼厂	印 度	1974
21、印度斯坦铜业有限公司	加特西拉冶炼厂	印 度	1971
22、中国国家技术进口公司	贵溪冶炼厂	中 国	1986
23、南朝鲜矿业冶金有限公司	温山冶炼厂	南 朝 鲜	1979
24、日本矿业公司	佐贺关冶炼厂	日 本	1970
25、日本矿业公司	佐贺关冶炼厂	日 本	1973
26、住友金属矿山公司	东予冶炼厂	日 本	1971
27、日比共同冶炼有限公司	玉野冶炼厂	日 本	1972
28、古河矿业公司	足尾冶炼厂	日 本	1956
29、日本矿业公司	日立冶炼厂	日 本	1972
30、同和矿业有限公司	小坂冶炼厂	日 本	1967
31、菲律宾联合冶炼精炼公司	Leyte冶炼厂	菲 律 宾	1983
32、西部矿业有限公司(镍)	卡尔古利冶炼厂	澳 大 利 亚	1972
33、佩科·瓦尔森德公司	特南茨克里克冶炼厂	澳 大 利 亚	1973
34、佩科·瓦尔森德公司	芒特摩根冶炼厂	澳 大 利 亚	1972

闪速炼铜是把粒度很细、经过干燥的硫化铜精矿与硅质熔剂和空气（富氧空气或氧气）一道鼓入高温（ $\approx 1500\text{K}$ ）膛式炉中，如图1.2所示。这些物料进入高温炉子后，精矿中的硫化物（例如 CuFeS_2 ）与鼓风中的氧迅速反应。其结果是：（1）精矿中的铁和硫进行受控氧化反应；（2）放出大量的热量；（3）固体物料熔化。

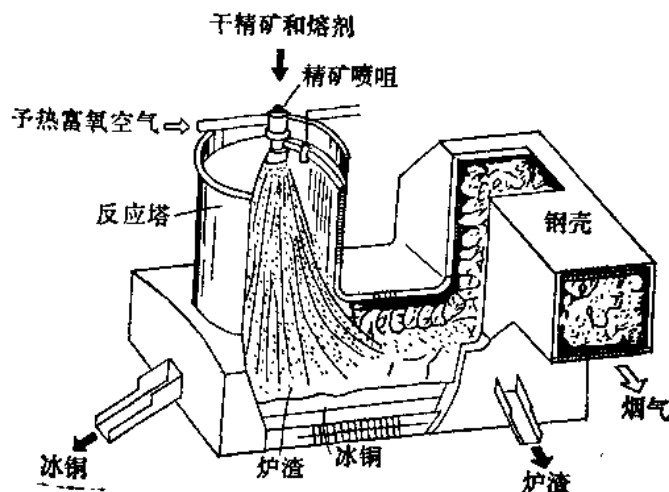


图1.2a 奥托昆普富氧空气闪速炉剖视图

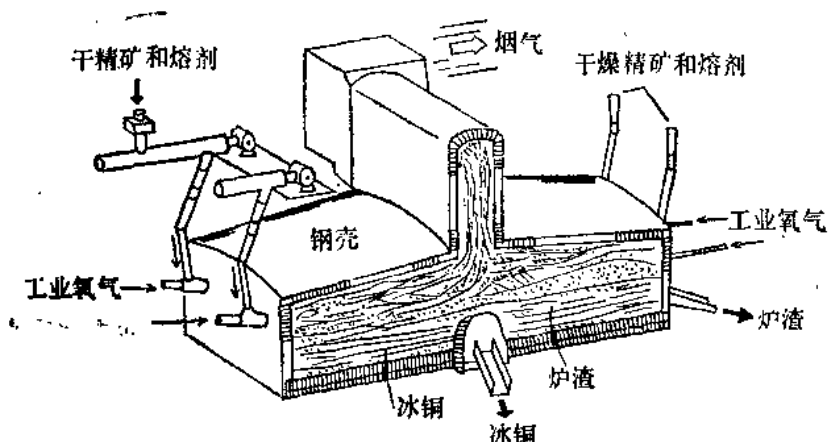


图1.2b 因科（氧气）闪速炉剖视图

1.1 产出物

闪速熔炼的产出物（表1.1）是：（1）含铜45~65%、富集铜的 $\text{Cu}-\text{Fe}-\text{S}$ 熔融冰铜（注1），其中包括铜精矿中的几乎全部铜和未氧化的铁与硫。（2）熔融炉渣，其中包括铁的氧化物和脉石与熔剂中的氧化物。（3）烟气，其中包括硫氧化产生的 SO_2 和鼓风中带入的氮气。如果在炉内燃烧辅助矿物燃料，则烟气中还含有 CO_2 和 H_2O 。

工业闪速炉精矿、熔剂、冰铜、炉渣和烟尘的成份，质量%

表1.1

冶炼厂	精 矿							熔 剂				冰 铜				
	Cu	Fe	S	SiO ₂	Pb	Zn	其它	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	其它	Cu	Fe	S	O	其它
(1)	29	23	28	7	0.3	1	Al ₂ O ₃ 2 C 2	94	3	—	Fe ₃ O ₄ 2	62	14	23	1	Pb0.5 Zn 1
(2)	29	26	32	6	0.3	0.8	—	90	5	1	—	58	17	23	—	—
(3)	25	28	33	3	0.4	2	Al ₂ O ₃ 1.5 C 2	90	3	—	—	58	16	22	1	—
(4)	24	27	30	7	0.3	2	Al ₂ O ₃ 2 CaO 2	88	6	2	K ₂ O Na ₂ O } 3	65—70	8	21	0.4	—
(5)	26	26	36	6	—	—	—	74	10	—	—	62	14	22	1	—
(6)	27	23	28	13	0.3	0.7	Al ₂ O ₃ 2 CaO 2	80—90	3	—	CaO 6	60	15	23	1	—
(7)	29	32	34	2	—	—	CaO 2 Ni 1	79	9	3	CaO 2 K ₂ O 1 MgO 1 Na ₂ O 2	45	26	25	2	Ni 2
(8)	20 Ni11.5	31	37	4	—	—	Al ₂ O ₃ 2 MgO 5	—	—	—	—	45—55	—	—	—	—
(9)	Cu0.8 Co0.2	37	32	9	—	—	Al ₂ O ₃ 1 CaO 1	54	4	—	Fe 10 Ni 2.6 C 12	Ni44	Cu3	27	24	0.7 Co 0.8
(10)	Ni8.5 Cu2.5 Co0.3 Ni2.9	35	26	13	—	—	C 2 MgO 2 Al ₂ O ₃ 1 Al ₂ O ₃ 2	88	6	2	KO ₂ Na ₂ O } 3	Ni36 Cu18	18	25	—	—
(11)	Cu3.4 Co0.2	46	30	8	—	—	CaO 1 MgO 1	82	9	—	CaO 1	Ni15 Cu16	37	23	4	Co 0.6

	炉渣										返回烟尘									
	Cu	SiO ₂	总Fe	Fe ³⁺	Fe ₃ O ₄ 比FeO	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	S	其它	Cu	SiO ₂	总Fe	Fe ₃ O ₄	asSO ₄	Zn	Pb	As	其它	
(1)	1—2	32	43	4	0.16	4	1	1	1.3		29	4	17	—	12	2-7	3	0.6	—	
(2)	2	28	43	7	0.33	4	0.3	1	1.3		28	4	16	—	11	—	—	—	Al ₂ O ₃ 1	
(3)	2	30	42	6	0.28	3	0.2	0.6	1.2		24	2.5	20	18	8.5	—	—	—	Al ₂ O ₃ 1	
(4)	1.4-2.8	28	40	11	0.73	3	3	2	0.5		25	4	18	18	10	—	—	—	Al ₂ O ₃ 1 CaO 1	
(5)	1—2	31	42	4.5	0.20	5	1	0.3	1.3		27	6	13	11	10	3-7	1-2	—	Al ₂ O ₃ 2	
(6)	0.61*	33	39	3	0.15	5	4	1	0.8		27	7	15	—	11	—	—	—	Al ₂ O ₃ 2 CaO 1	
(7)	0.63	35	40	5	0.27				1.2 Ni		35	4	15	—	17	—	—	—	Ni 1.2	
(8)	0.7	34	41	2	0.08				0.07		—	—	—	—	—	—	—	—	—	
(9)	Ni0.8* Cu0.8	31	41	2	0.07	3	2	6	0.6	Co 0.13	Ni11 Cu1	20	36	32	2	—	—	—	MgO 6 Al ₂ O ₃ 3 CaO 2 Co 0.3	
(10)	Ni1-1.5 Cu5-8	29	42	7	0.35	2	2	9	0.5	—	Ni10 Cu5	12	30	—	3	—	—	—	MgO 2 Al ₂ O ₃ 4 CaO 2 Co 0.2	
(11)	Ni0.4 Cu0.5	29	43	3	0.11	6	2	2	2.2	Co0.1	Ni3.3 Cu3.9	11	48	44	3.5	—	—	—	Al ₂ O ₃ 4 CaO 2 MgO 2	

● 在闪速炉内安装有电极。(1)北德精矿公司(西德);(2)冶炼厂A;(3)里奥廷托矿业公司(西班牙);(4)奥托昆普公司(芬兰);(5)菲尔普斯道奇公司(美国);(6)玉野(日本);(7)因科(加拿大);(8)奇诺矿业公司(美国);(9)西部矿业公司(澳大利亚);(10)奥托昆普(芬兰);(11)巴曼瓦托特有限公司(博茨瓦纳)。

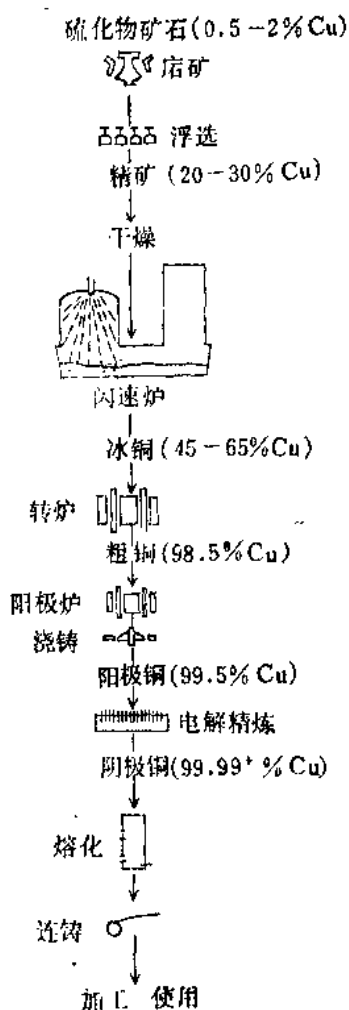


图1.3 闪速熔炼在从硫化矿石提取铜的整个工艺流程中所处的位置

闪速炉处理含铜20—30%的干精矿，产出品位为45—65%的Cu—Fe—S熔融冰铜。冰铜在转炉进一步氧化吹炼成粗铜。闪速炉和转炉产生的含SO₂烟气送到SO₂回收工厂处理。闪速炉和转炉产生的炉渣通常要作铜回收处理。

进行干燥就可以入炉熔炼。可用回转干燥窑、快速干燥机、流态化床干燥炉以及喷射干燥机进行干燥。

最常见的铜精矿矿物是黄铜矿(CuFeS₂)和黄铁矿(FeS₂)。但是，由于精矿产地的矿床不同，精矿中也常有相当数量的其它矿物存在，如斑铜矿(Cu₃FeS₄)、辉铜矿(Cu₂S)、铜兰(CuS)和石英(SiO₂)。闪速炉熔炼精矿的化学组成为20~30% Cu，25~35% Fe和

1.1.1 产品目标

熔融冰铜是闪速炉的主要产品。冰铜总是被送到转炉去处理。在此，冰铜中的S和Fe被空气或富氧空气氧化，产出含有杂质的熔融粗铜。粗铜再经精炼后作为商品铜销售。

闪速炉渣一般含0.5~2% Cu。这种炉渣通常要送渣处理工序进一步处理，以回收其中的铜。脱铜后的炉渣废弃，也可以出售，或作渣粒、铁路道渣、筑路填料使用。

闪速炉烟气中的SO₂含量为10~80% (体积百分数)，随鼓风中的O₂含量变化而变化。为回收能量，炉温(≈1500°K)下的烟气常在废热锅炉中冷却，除去其中的烟尘后，送往SO₂回收工厂处理。回收烟气中SO₂的最常用的方法是制成H₂SO₄。有一家工厂(加拿大的萨德巴利冶炼厂)是将其加压成液态SO₂。在另一家工厂(苏联的诺里尔斯克)是把它还原为元素硫。一些位于边远地区的冶炼厂则直接把烟气排入大气中。

1.2 原料

闪速炼铜厂的主要原料为：(a) 铜精矿；(b) 硅质熔剂；(c) 空气；(d) 工业氧气。

闪速炉还可以处理一些其它含铜物料，如湿法冶金工厂产出的沉积铜。

除供给的原料外，还有一些物料要返回到闪速炉进行处理，以回收其中的铜。其中最重要的有：(a) 从闪速炉和转炉烟气中回收的烟尘；(b) 转炉渣精矿或液态转炉渣。

这些物料列于表1.1，并在以下几节中还将述及。

1.2.1 精矿

闪速炉处理的铜精矿，是由浮选精矿厂运来冶炼厂的，其粒度为50~100μm，恰好适合于闪速熔炼。精矿只需进行干燥就可以入炉熔炼。可用回转干燥窑、快速干燥机、流态化床干燥炉以及喷射干燥机进行干燥。

25~35% S。

1.2.2 硅质熔剂

各冶炼厂都把硅质熔剂计入闪速炉的炉料中。二氧化硅熔剂的主要作用是与在熔炼过程中生成的铁的氧化物反应, 产出液态炉渣; 并使产出的炉渣易于从炉内排除。根据所产炉渣的性质来决定二氧化硅熔剂的加入量: (a) 炉渣与冰铜不互熔 (Biswas and Davenport, 1980); (b) 铜在渣中的溶解度很小; (c) 具有良好的流动性 (Elliot, 1984)。闪速炉渣含30~35% SiO₂ (表1.1)。

闪速熔炼通常是用砂子、含硅原矿或磨碎了的石英石作为熔剂。为了在铜电解精炼过程中多回收金银以提高效益, 也可以使用含金或含银的硅质物料。各冶炼厂所使用的熔剂列于表1.1。

1.2.3 氧 气

闪速熔炼所用的工业氧气含90~98% O₂, 其余为Ar和N₂。在2个绝对大气压的压力下, 以气态形式从制氧厂将氧气供给闪速炉。一般不需要中间液氧贮罐。

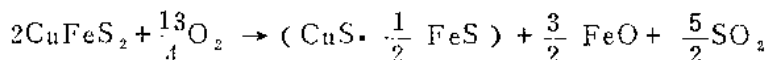
1.2.4 返回烟尘和炉渣

闪速炉烟气的含尘量一般为炉料的2~15%。闪速炉烟尘主要由没有在炉内沉降的氧化了的精矿组成, 含铜25~30%。这些在炉子烟气净化设备中捕集的烟尘, 为回收其中的铜, 几乎都是将其返回到闪速炉处理。转炉烟气也含有少量烟尘, 通常也是返回闪速炉。

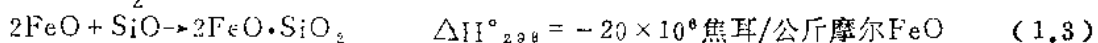
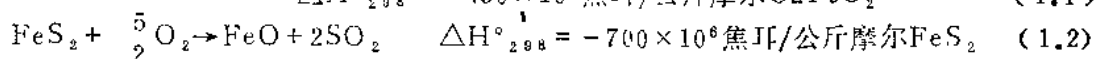
闪速炼铜厂的转炉渣含3~6% Cu, 采用下列方法处理以回收其中的铜: (a) 在电炉中处理, 产出液态冰铜 (30~70% Cu), 然后送往转炉吹炼成粗铜。(b) 炉渣冷凝后经浮选处理, 产出30~40% Cu的渣精矿 (White, 1986), 渣精矿返回闪速炉处理。(c) 将液态炉渣直接返回闪速炉处理。

1.3 化学反应

闪速炉内的反应可用下列方程式来表示:



$$\Delta H^\circ_{298} = -450 \times 10^6 \text{ 焦耳/公斤摩尔 CuFeS}_2 \quad (1.1)$$



反应(1.1)和反应(1.2)是强放热反应。加热、熔化和过热熔炼产物所需的大部份或者全部热量都由这些反应提供。实际上, 在使用工业氧气或高浓度富氧空气为反应(1.1)