

诺兰达法富氧熔池炼铜

NORANDA OXYGEN ENRICHMENT BATH
SMELTING PROCESS FOR COPPER



北京有色冶金设计研究总院
大冶有色金属公司

诺兰达法富氧熔池炼铜

北京有色冶金设计研究总院

大冶有色金属公司

059140

序

本书汇编了从1972年到1992年二十年间国际上公开发表的有关诺兰达熔炼法的文章，由于诺兰达法从七十年代开发到现在技术是不断进步的，早期的文章和近期的文章内容会有很多出入，为了让读者从历史上了解诺兰达的情况，我们特别注明了每篇文章发表的年限。

关于诺兰达法的发展情况，大致有以下阶段：

1973年工业炉投产，直接生产粗铜（空气熔炼）。

1975年改为生产高品位冰铜（空气熔炼）。

1976年一座小型氧气站投产，改为低浓度富氧熔炼。

1982年510t/d大氧气站投产，提高富氧浓度。

1989年霍恩冶炼厂关闭反射炉，诺兰达反应炉成为霍恩冶炼厂唯一的熔炼设备，并且诺兰达炉烟气制酸厂投产。

1991年澳大利亚南方铜冶炼厂用诺兰达法改造投产，该厂炉渣不用选矿而用电炉贫化。

读者可以从每篇文章的历史背景，看出它的发展过程。

全书按其内容编成三个部分：

第一部分 介绍诺兰达法的生产操作过程，近期主要生产指标，诺兰达法的特点，废热锅炉的设计，烟气制酸设计，仪表控制和理论基础。

第二部分 诺兰达法从试验开始到1988年以前的历史资料。

第三部分 美国犹他冶炼厂，澳大利亚南方铜冶炼厂以及智利铜公司的有关资料。

本书可供从事熔池熔炼的设计、研究和生产的科技人员参考。

黄其兴

前 言

为了适应我国社会主义现代化建设的需要，推动重有色金属冶炼行业的技术革新和技术进步，北京有色冶金设计研究总院和大冶有色金属公司共同编译了《诺兰达法富氧熔池炼铜》一书。

《诺兰达法富氧熔池炼铜》一书，荟萃了世界上使用诺兰达法进行富氧熔池炼铜厂家的发展过程、技术改造及生产操作情况。资料新且系统，具有相当的权威性。

《诺兰达法富氧熔池炼铜》一书，对从事重有色金属冶炼企业广大工程技术人员、操作工人和大专院校师生了解诺兰达工艺技术，以及对我国老企业的技术改造，都有着十分重要的参考价值。

主审：黄其兴

主编：任英兰

责任编辑：陈莉

参加本书翻译的人员有：黄其兴，刘金山，黎明民，王阳生，张友余，邓文基，何海，刘黎民，周国军，韩明修，吴希林，曾添兰，陈莉。

参加本书审校工作的人员有：段一新，章晓桦，周国军，程桦，董凤书，余志强，张淑清，朱水波，王阳生，陈慧仙，林英娥等。

另外，在此书的编辑过程中还收集了陈达，余楚蓉，叶国端，傅维义，李以椿，姜澜等同志编译的文章，在此向他们表示感谢。

由于资料有限，时间匆促，错漏之处在所难免，热诚地希望广大读者批评指正。

编 者

1993年1月

目 录

序.....	(I)
前言.....	(II)

第一部分

霍恩冶炼厂诺兰达法生产概况 (1991)	(3)
诺兰达法是现代化炼铜方法——诺兰达法的特点 (1982)	(9)
诺兰达处理复杂物料的技术进展 (1991)	(18)
诺兰达过程和不同的冰铜品位 (1986)	(27)
诺兰达法废热回收系统的设计改进和操作 (1983)	(32)
霍恩酸厂烟气冷却和净化工序设计 (1989)	(43)
诺兰达反应炉冶炼过程控制 (1991)	(51)
诺兰达霍恩冶炼厂氧的应用 (1987)	(59)
铜冰铜吹炼过程的热力学 (一) (1978)	(66)
铜冰铜吹炼过程的热力学 (二) (1978)	(81)
熔池熔炼反应炉中固体—液体和气体—液体的相互作用 (1992)	(101)
诺兰达连续炼铜法中次要元素的行为 (1975)	(116)

第二部分

诺兰达法研究和发展过程 (1984)	(125)
诺兰达法生产铜—半工业试验、工业试验 (1972)	(143)
诺兰达法的试验工作 (1972)	(152)
诺兰达法的氧气试验 (1975)	(161)
诺兰达连续熔炼法最新的设计和操作 (1976)	(167)
诺兰达连续熔炼过程的计算机控制 (1978)	(182)
生产六年后的诺兰达法 (1980)	(192)
诺兰达法—过去、现在和将来 (1982)	(200)
1965—1983年期间诺兰达霍恩冶炼厂的进展.....	(205)
1988年诺兰达法的生产情况及今后的发展趋势.....	(212)

第三部分

加强环境保护 改造犹他冶炼厂 (1981)	(221)
肯尼科特公司犹他冶炼厂连续熔炼过程的仪表和控制系统 (1977)	(233)
ER & S铜冶炼厂 (现名南方铜冶炼厂) 低费用改造的技术 (1990)	(241)
用诺兰达法和智利改良转炉法改造炼铜厂以及铜厂现代化 (1985)	(248)
肯尼科特炉渣贫化法 (1976)	(257)
霍恩华夫式烟罩 (1982)	(267)

第 一 部 分

霍恩冶炼厂诺兰达法生产概况(1991)

1 霍恩冶炼厂简史

霍恩冶炼厂1927年建厂，每天处理1000吨料，直接冶炼霍恩矿产出的铜金矿和鲁安——诺兰达区小量开采的矿石和精矿。最初，该冶炼厂有8座多膛焙烧炉，2台反射炉和2台转炉。50年代初，外购精矿冶炼的比重增加了，65%的产铜从外购精矿中获得。在1957年，建成一台湿精矿反射炉，处理额外增加的精矿。在1965年，冶炼厂处理含铜物料超过1,200,000吨，产出180,000吨铜，在1971年，决定扩大冶炼厂，修建一台试验性诺兰达反应炉，目的是取消焙烧炉，把两台加焙砂的反射炉变成加湿精矿。到1974年，霍恩矿产的精矿只占冶炼厂物料的14%，在1976年霍恩矿最后关闭了。而霍恩冶炼厂成为世界上最大的外购精矿冶炼厂。

1973年3月1日，由于使用诺兰达法，在霍恩开创了冶炼操作新纪元。60年代末，100吨/日试验工厂的生产为冶炼厂生产的灵活性和效率提供了可能。自1973年~1990年霍恩冶炼厂的主要发展和变化归纳在表1-1。

2 最近操作概述

根据该反应炉和一个氧——燃料反射炉的实际能力，霍恩冶炼厂的设计能力确定为850,000吨含铜物料，超过过去几年。然而，自从1989年9月反应炉操作期开始以来，就不使用反射炉，目前也不打算再起动该炉子，只是保留它作为反应炉的备用设备。因此，1991年初，安装了一台把精矿喷进转炉的装置。到1991年，一旦操作正常，该工艺将允许永久地关闭唯一保留的反射炉，而将霍恩冶炼厂能力维持在800,000~850,000吨/年水平上。

在目前唯一反应炉操作方式中，使用四台转炉，三台处于热状态下，一台在维修，两台或三台旋转阳极转炉，两台卧式圆盘铸锭机，霍恩冶炼厂简图见图1-1，主要冶炼设备布置图如图1-2。

诺兰达反应炉是一个直径17英尺、长70英尺，内衬为耐火材料的设备，使用高速抛料机

表1-1 霍恩冶炼厂主要进步 (1973~1990年)

年代	项 目
1973	—诺兰达反应炉投产，直接产出粗铜。 —新转炉收尘器投产。
1975	—诺兰达法转入生产高品位冰铜。 —日产90吨制氧厂投入运行。 —启用渣包冷却反应炉渣。
1976	—把一座热炉料炉改造成湿炉料炉，并关闭10座焙烧炉中5座。 —关闭霍恩矿。
1977	—关闭原保留的焙烧炉和最后的热炉料炉。
1980	—安装第一台华夫烟罩。
1982	—霍恩冶金改造工程建了一座510吨/日制氧设备，改进反应炉加料系统，一座反射炉改用氧一燃烧，关闭第二座炉。
1984	—扩建废杂铜回收及取样设施。
1986	—将反应器电收尘获得的含铅烟灰运到伯伦瑞克冶炼厂。
1988	—开始兴建日产2100吨的硫酸厂。
1989	—把诺兰达法开始作为唯一的冶炼设备。 —霍恩酸厂在12月投产。
1990	—3~4月产量达到68,500吨/月，创造了诺兰达法生产纪录。

加料端的另一排出口扒出,在容量430吨包子里缓慢冷却、磨浮,回收渣中铜和贵金属。烟气通过水冷烟罩从反应炉排出,在喷射蒸发冷却器中冷却,在电收尘里净化烟尘。自1989年12月末以来,反应炉所有烟气从电收尘排出,送到后面叙述的2100吨/日酸厂进行处理。

在1990年3~4月期间,反应炉物料平均流量和操作数据列在表1—2。按天计,反应炉处理的每种炉料成分是很广的。物料包括常用的黄铜矿型精矿,含少量或不含铜和硫的含银精矿,不含铜的含金黄铁矿和混合的金属屑。反应炉加料系统能处理物料粒度最大为4英寸,水分最高约为14%。

反应炉冰铜在三个直径13英尺、长30英尺的卧式转炉中吹炼,都装有加斯佩通风眼机和诺兰达设计华夫式烟罩。

转炉操作分两个阶段:“造渣”阶段和“造铜”阶段。

一般转炉物料由下述构成,6包高品位反应炉冰铜(约110吨),大约10吨从前面造铜期中产生的渣,2~3吨粗碎高硅熔剂和大约2吨煤。

虽然,正常转炉操作是自热的,但高氧化的富铜渣的返料特性是以使用煤为条件,铜鼓风渣必须保留在转炉中,因为它难以处理和粉碎。不过还在发展阶段,使用富氧空气(约26%O₂)取代煤,使“造渣”阶段的工作时间减少一半(从50分减少到25分)。

造渣后扒出的渣在Kress槽中空气冷却48小时,破碎,作为返料(12%~15%Cu)返回到反应炉。

在造铜期必须加冷料冷却,这些冷料包括从球状烟道中收集的烟尘、冰铜和铜包壳、精炼渣、碎阳极、碎阴极和当阳极炉不能适应铜生产时候的铜铸锭。

造铜期的进行过程是由操作者认真完成的,通过风眼采取铜样,样品的物理特性确定鼓风终点,在这点,从炉口取出铜屑样,送去用x射线荧光检查法分析少量元素,如果铋超过90ppm,将熔体再鼓风2~5分钟,再取样,直到铋量达到所要求的含量为止。

通过炉口加入2~3吨熔剂,排出造铜期中的渣,这优于撇去铜冷料渣,那是因为造铜期渣有机会冷却和变硬,这就减少送进阳极炉里的夹带渣量,如果造铜期渣是热的,它必须在转换泡铜前扒去,然后在造渣开始时,返回到另一个转炉。

用于排出铜渣的熔剂足够下一个转炉物料的造渣。

转炉一炉总时间大约为4小时。

装满一台旋转阳极炉大约需要三台转炉料(生产能力大约300吨)。

一旦装满,炉料被加热和扒去渣,这渣由含氧化镍的造铜期夹带渣组成,如果不除去,会产生镍,进入铜熔体中。

表1—2 反应炉(1990年3~4月)平均物流量和操作数据

物料名称	瞬时速度* s.t./d (干料)	物料分析(含量%)					
		Cu	Fe	S	SiO ₂	Pb	Zn
进 料							
铜精矿	2563	21.9	30.3	33.1	4.4	2.0	2.7
杂 铜	240	24.9	14.0	4.4	18.0	1.6	2.5
外来返料	127						
渣精矿	247	36.9	19.2	10.9	12.6	2.1	2.3
熔 剂	360	0.2	7.5	4.1	62.9	0.1	0.1
冶炼厂返料	414	29.5	—	—	—	—	—
返回烟尘 (包括转炉渣)	117	14.0	4.6	12.1	1.0	27.6	7.7
产 出							
冰 铜	914	72.4	3.5	21.8	0.1	1.8	0.7
渣	2092	5.7	38.1	1.5	22.3	1.3	3.9
返 料	174	44.1	12.1	15.5	2.8	6.5	2.4
回收烟尘	117	14.0	4.6	12.1	1.0	27.6	7.7
操作数据							
平均鼓风率	45,000	(标英尺 ³ /分)					
平均富氧浓度	35.8%						
平均供氧率	556	短吨/日					
平均燃料比	0.4	(MMBtu/t)					

* (s.t.—短吨, 1短吨=0.9072吨)

(1MMBtu=1055.06×10⁶焦耳)

精炼周期的第一阶段是氧化，如果转炉炉料为了除去铋进行了过吹，那就取消氧化阶段。通过单排 $\phi 3/4$ "风眼大约鼓风30分钟，残留硫（25~100ppm）被除去到5ppm以下，铜中最终溶解氧量为0.55%~0.8%。

在这时，如果需要，用苏打灰造渣除铋。阳极周期的第二阶段是用通过单排风眼鼓进的天然气进行还原，该阶段一般延长2~3小时，在这以后，铜中氧量极低（0~200ppmO₂），进行浇铸。

每小时大约浇铸110块阳极，目前，用勺取样是手工操作，但在1991年夏末，一个自动的奥托昆普取样勺安装在一个铸锭机上，这将解决阳极物理质量上的主要问题——阳极质量。大约5%~6%的阳极铸锭看作废料和当作冷料返回到转炉。

阳极装进机动有轨车或卡车，或用船运到蒙特利尔的精炼厂。

3 反应炉控制措施

由于冶炼厂处理的物料变化大，需要仔细控制，保持稳定的铜阳极质量。新来的精矿和物料，在称重和取样后，基本上按已知杂质含量分类。由于产生高品位反应炉冰铜，As、Bi和Sb的总除去比较差，所以这个措施非常重要。

大部分精矿直接从卡车和机动有轨车上卸下来，放到靠近反应炉容量为10,000吨的储存厂房储存起来。精矿、废料、返料、熔剂和其他物料用前端装料机取料，并送到反应炉厂房里一系列矿仓里。物料特性包括主要元素分析成分，氧和熔剂要求是从现有资料估测的，计算大致的鼓风速率和富氧浓度，然后调节加料量，保持稳定的冰铜品位。后面的措施是由过程控制计算机按照反应炉氧平衡来进行的，并向操作者推荐使用一个物料混合比例，控制最佳冰铜品位。最近，操作者接受计算机推荐的物料混合比达85%，反应炉冰铜样每30分钟通过风眼获取，进行分析，包括杂质极限。渣每2小时进行采样和分析。反应区温度用2个风眼高温计进行测量，正常操作温度是1250℃。

4 反应炉渣的磨浮

含铜大约5.5%的反应炉渣在容量40吨的包子中冷却27小时，在整个冷却期间，水喷洒在渣表面，渣被结壳并破碎到~24英寸。在生产高峰期间，一些渣在预备的地坑中冷却，反应炉渣的球磨是采用半自磨和传统法相结合，球磨能耗大约为30kW·h/t，60%的产出粒度为-325目的浮选物料，浮选是在标准的100立方英尺的槽中进行，产出含35%~40%Cu的精矿，最终尾矿含铜约0.35%，将精矿过滤、干燥，水分为8%，返回到反应炉。1990年末，球磨系统增添了一台新的2750HP球磨机，使球磨能耗增加到40kW·h/t。希望渣尾矿含铜减少到0.25%，而许多小的老式磨矿设备被取代了。

5 次要元素

阳极铜中次要元素含量在精炼厂的极限，目前设定如下：

元素	最高浓度
Bi	90 ppm
Pb	1500 ppm
Sb	350 ppm
Se	1200 ppm

Ni

4200ppm

次要元素在冶炼厂分布率列在表 1—3。

表1—3 霍恩冶炼厂次要元素特性

过程	元素	分 配 率		
		烟尘	冰铜/铜	渣
反应炉 (71%冰铜)	Bi	0.75	0.09	0.16
	Sb	0.20	0.10	0.70
	Se	0.10	0.90	0.00
	Pb	0.55	0.20	0.25
	As	0.75	0.08	0.17
	Ni	0.05	0.45	0.50
精炼炉	Bi	0.22	0.55	0.23
	Sb	0.15	0.59	0.26
	Se	0.25	0.70	0.05
	Pb	0.46	0.05	0.49
	As	0.18	0.50	0.32
	Ni	0.03	0.66	0.31
		精矿	尾矿	
渣精矿	Bi	0.20	0.80	
	Sb	0.25	0.75	
	Se	0.80	0.20	
	Pb	0.20	0.80	
	As	0.35	0.65	
	Ni	0.30	0.70	

次要元素的控制措施如下：

铋：

限制高铋含量物料的加料速度，控制反应炉冰铜中铋最高浓度为150ppm。在伯伦瑞克冶炼厂处理中，反应炉和转炉高铅烟尘的排放允许除去加进来的铋的60%，另20%固定在渣尾矿中，泡铜精炼中经常进行过吹，维持最高铋量90ppm，2°铜屑也被熔化，并当作稀释剂。

锑：

反应炉冰铜中锑控制最大浓度为500ppm，是通过限定一定物料的加料速度来获得的。含Sb350ppm以上的粗物料，是用苏打渣来处理的，在脱氧前，通过风眼喷进大约1吨苏打灰，一个周期大约20分钟以上。砷和锑形成复杂的砷酸钠和锑酸钠渣被除去，由于含铜量高，作为返料返回到反应炉，锑除去达50%。在这种情况下，添加铜—砷黄渣，保持As(Sb + Bi)的比例超过2%，以控制铜精炼厂的电解液质量。

铅：

通过限制物料，包括返回的平均含Pb

12%的转炉渣，控制反应炉冰铜中铅量最高为3%，电收尘烟尘的排出和渣尾矿的固定，大约45%的加入铅被除去。

6 霍恩酸厂

由凯梅蒂克斯国际公司建立的硫酸厂处理反应炉的所有烟气，而转炉烟气直接连续排放到冶炼厂烟囱。

反应炉烟气特性列在表1—4，作为烟气净化和酸厂设计的依据，酸厂烟气净化工段入口的次要杂质设计量和产出的酸质量特性的设计数据也列在表1—4中。

酸厂的标准生产能力和它的20,000m²占地面积，使它成为世界上最大的冶金酸厂之一，更不必说污水处理、酸库和运输设备。为了维护生产和使成本维持在可接受的水平上，在设计上考虑了许多项目，如延长设备寿命、减少重大停工、减少人力和降低能耗的需要。

(1) 使用全世界工厂实际经验数据编写出每种设备的主要部件的设计标准。

(2) 确定易腐蚀的临界点和选择合适的结构材料，减少不利的影响。

——弱酸泵由高分子量—高密度聚乙烯构成。

——喷雾沉淀槽由增强纤维塑料构成，顶部薄管和支架由完全均匀的铅烧结碳钢制成，底部薄管和气体分布设备由聚丙烯构成。

表1-4 酸厂设计标准

气流速度和成分	设计 (按天计)	
	最小流速	最大流速
流速 (m^3/h)	145,000	200,000
$\text{SO}_2\%$ (体积)	7.0~13.8	4.0~11.0
$\text{O}_2\%$ (体积)	9.5	11.5
SO_3 ppm		100
NO_x ppm		150
H_2O (g/m^3)		200~400
温度 ($^{\circ}\text{C}$)		320~375
主要杂质含量	(混合的固体颗粒、烟尘、挥发物)	
	最大设计值 (瞬间值)	
元素	(kg/h)	
Pb	350	
Zn	65	
As	180	
Cd	100	
Se	20	
Cu	12	
Fe	23	
Sb	7	
Hg	12	
Cl	200	
F	110	

主产品酸的特性		设计标准
酸品位	H_2SO_4	% 93.5~98.5
Fe		ppm 15
As		ppm 0.5
Se		ppm 0.5
Pb		ppm 1.0
(As+Cu+Ni+Cd)		ppm 1.0
Hg		ppm 0.5
SO_2		ppm 40
硝酸盐总量		ppm 10

——奥氏体不锈钢广泛用于转化区域的设备和净化设备。

(3) 实行高水平工艺控制, 减少人力, 由Rosemount配置的控制系統供先进技术和用户选择。

配件和维修的研究例如容器内部的净空要求, 大通道、吊车轨道也有助于健康和安全, 所设计的设备要满足环保要求, 例如噪声控制和排出物的遏制。

1989年12月末, 该设备开始投产, 而现在是投产的最后阶段。起初有些成品酸质量问题如氮——氧和颜色问题, 后来使用肼和过氧化物, 已得到解决, 现在产出工业酸。

刘黎民 译

诺兰达法是现代化炼铜方法

—诺兰达法的特点(1982)

P. J. Mackey, J. B. W. Bailey 等

〔摘要〕 此文着重叙述诺兰达法近来操作的冶金特点。该法的灵活性在于能生产高品位冰铜。诺兰达法热效率高并适于使用富氧，这不但使生产能力较高而且燃料耗量较低，并提高烟气中 SO_2 浓度。粗粒杂铜和冶炼炉返料都可以加入到反应炉，四氧化三铁高的返料在流动的熔池中能很容易吸收。诺兰达法具有高的固有稳定性，反应炉中有大量冰铜可起缓冲作用，防止温度变化并调节炉料中铜含量的变化。

1 前 言

世界第一座连续熔炼和吹炼的反应炉，是每天将726吨精矿直接炼成金属铜，它于1973年在诺兰达霍恩冶炼厂投产。从1973年开始投产以来，生产能力逐渐增加，现在每天使用80吨氧气约处理1150吨精矿。生产能力为460吨/天的氧气厂正在该冶炼厂建设，它是350万加元改进项目的一部分。而氧气厂于1982年投产时，反应炉生产能力每天约处理2000吨精矿。

肯尼柯特矿业公司犹他铜冶炼厂已安装了诺兰达法反应炉并于1977年投产。这个冶炼厂是完全配套的工厂，有三台诺兰达法反应炉生产高品位冰铜，卧式转炉，制酸装置处理该法的废气。（注：澳大利亚南方冶炼厂是第三个用诺兰达法生产的冶炼厂。）

在犹他铜分公司的诺兰达法反应炉已满足所有的要求，并证明熔炼能力比设计生产能力的产量高，铜的质量好。由于新安装的冶炼和污染控制装置，使冶炼厂周围的环境污染已显著地减少。

比起其他冶炼方法来，诺兰达法主要优点包括：

—含铜物料冶炼容器的生产能力和效率都很高。

—使用简单送料系统能够熔炼许多不同类型物料，包括氧化物料和熔炼炉返料。

—该法既能生产高品位冰铜（70%—75% Cu），又能生产金属铜。高品位冰铜与低品位冰铜相比较，吹炼量更少，这就使烟气制酸能更好地操作并可简化吹炼。

—金、银如铜的回收率比其他任何方法均高，由于充分搅动炉渣，其硫化作用良好并能以低硅炉渣操作，无磁铁问题。

总之，该法具有生产能力强，可靠性及在成本上可与传统冶炼方法相竞争。

2 反应炉冶金特点

诺兰达法是连续的方法，从硫化物精矿中既能生产金属铜又能生产铜冰铜（图2—1）。当生产金属铜时，在反应炉中同时存在高品位冰铜，铜和炉渣。炉渣强烈地被氧化并含有20%—30%磁铁和8%—12%铜，由于反应炉熔池处于强烈搅拌状态，磁铁层不会形成。在生产冰

铜时（图2—2），渣含磁铁和铜较少，变化范围 Fe_3O_4 15%—25%， Cu 3%—7%，取决于冰铜品位。磁铁较低的炉渣更易流动而与生产金属铜时炉温 1230°C 相比较允许反应炉在渣温 1200°C 下操作。

金属铜或冰铜是通过圆筒形炉子的放出口间断地放出。炉渣是由反应炉的一端放出。诺兰达和肯尼柯特厂用浮选法回收炉渣所含的铜，渣精矿返回到反应炉，尾矿含铜低（0.3%）而废弃。另一种方法炉渣可用火法冶金处理。在诺兰达及别处的小规模试验已表明最终弃渣含 Cu 0.5%—0.6%可用于生产。

废气通过一个水冷烟罩到废热锅炉，或到喷水蒸发冷却器，然后到电收尘器。烟气处理系统中所捕收的烟尘可局部或全部地返回到反应炉，或以半产品分别处理回收。连续高浓度 SO_2 烟气适于生产硫酸。

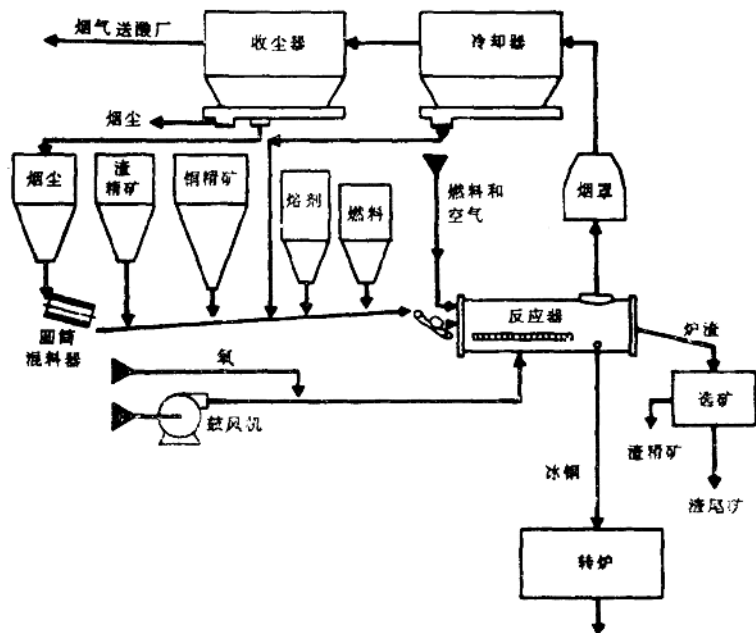


图 2—1 诺兰达法流程图

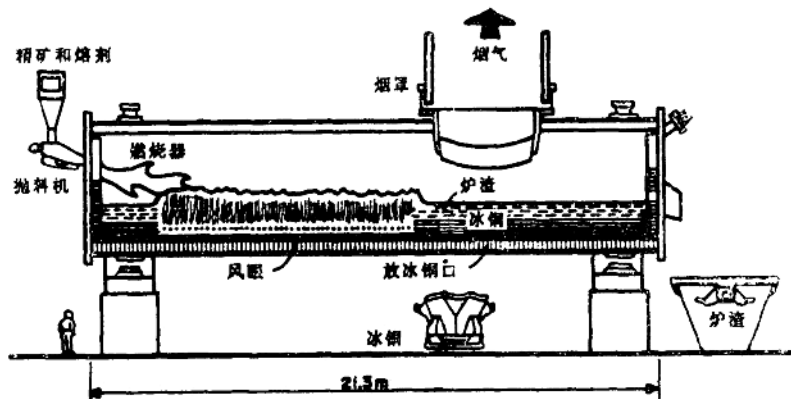


图 2—2 诺兰达法反应炉（冰铜形式）纵向剖面

3 反应炉加料及冶炼特点

铜精矿和含二氧化硅的熔剂加入到强烈湍动的熔体熔池里。熔炼通过炉料迅速溶解和吸收,而熔体的氧化作用借助于液—气质量传递。正如以下所述,熔剂是靠固—液界面化学反应的发生并靠象颗粒尺寸大小和矿物类型的因素来调节。

霍恩冶炼厂的反应炉熔炼来自约25个不同矿山的黄铜矿精矿和辉铜矿精矿。其成分分析: Cu 20—40%, SiO₂ 0—10%, S 20—40%, Fe 15—35%, Pb 0—8%, Zn 0—10%。其他类型精矿,沉淀铜,铜和锌精炼渣,冶炼返料,烟尘和杂料亦可在反应炉中处理。精矿不需要特殊配料和特殊干燥。

美国犹他铜分公司的诺兰达反应炉处理来自美国宾厄姆峡谷坑采矿石的精矿与沉淀铜。典型精矿含Cu 26%, Fe 29%, S 32.5%, SiO₂ 9.5%;沉淀铜约含Cu 85%。

诺兰达和肯尼柯特炉料都不造球。在霍恩冶炼厂原来安装盘式制球机现在用于铅—锌高的烟尘与精矿的混合。将来计划安装设计成不同型式的小型混合机只是用于烟尘的制球,更容易处理最细的烟尘,以避免飞扬。

3.1 熔剂

在霍恩冶炼厂,反应炉已用各种各样的熔剂操作,包括低品位金矿石(见表2—1)。在肯尼柯特犹他分公司炼铜厂,自投产以来已普遍使用银矿石。

熔剂溶解速度取决于颗粒尺寸、炉渣温度、炉渣成分诸因素。炉渣成分Fe/SiO₂比为1.8。

试验室研究已表明没熔化的熔剂百分率时常与颗粒尺寸有关,公式如下:

$$X = (1 - 2kt/d)^3 \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中X = 没熔化熔剂百分率

t = 熔化时间, (分钟)

d = 最初的熔剂直径

k = 反应系数

在方程式(1)中,反应系数k与给定渣成分的温度有关。

$$k = 25.4e^{[-(A/T) + \beta]} \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中T = 温度(°K)

A、β = 系数

本模型能有效地检验各种不同类型熔剂的特性或对特殊熔剂确定最佳破碎尺寸。当加拿大敦鲁安熔剂以12毫米变化时,熔剂A熔解缓慢,熔剂完全溶解需要破碎到6毫米。在诺兰达法中,给定的强烈熔炼条件,熔剂与精矿预先混合,不希望改变冶炼和熔剂的状况,为了溶解,熔剂需要减少颗粒尺寸。

在熔炼熔池中强烈搅拌是诺兰达法的特点。该法能处理各种物料并能熔炼氧化物料,对渣尾矿含铜没有不利影响,炉床不产生炉结。炉子熔炼区(图2—2)是由风口维持强烈的湍动状态。精矿、熔剂及固体燃料与氧气反应形成炉渣,可氧化的组分与氧化反应效率接近100%。熔池的大量喷溅物出现在炉膛空间中,这就导致与熔池上方送入的空气或氧气反应。根据诺兰达在液体熔池中风口喷射特点的初期研究,最近在这方面已验证了风口喷射的特点。在不列颠哥伦比亚大学由Brimacombe及其他人共同研究已表明淹埋式风口从风口弹道一连串气泡上升脉动式操作,依风口鼓风进行搅拌保证炉料迅速融合及与上升气泡完全反

表 2—1 诺兰达法所使用的熔剂

熔 剂	分				析			尺寸及矿物主要特性	
	SiO ₂	Fe	S	Cu	Al ₂ O ₃	CaO	MgO		
诺兰达霍恩冶炼厂									
敦鲁安	67.0	4.0	—	—	12.0	1.5	1.5	—12mm	石英闪长岩
熔剂A	66.1	6.0	5.2	—	9.4	1.9	1.4	—6mm	流纹岩一片岩与石英
熔剂B	79.1	3.3	1.5	0.1	7.8	1.5	1.2	—100目	尾矿占90%
熔剂C	80.4	0.7	—	—	10.7	0.7	0.3	—48目	尾矿20%
熔剂D	85.0	2.8	—	—	6.4	0.6	0.3		石英闪长岩
肯尼柯特犹他铜分公司									
诺兰达反应炉熔剂	75.5	4.8	44	0.9	2.1	0.9	—	—10mm	含二氧化硅矿石

应。通过给料系统能处理易熔化任何尺寸的含铜物料。在霍恩冶炼厂，可加100毫米炉料。该法特点是允许处理许多不同的炉料，例如低硫精矿或含氧化铜的氧化矿、其他方法生产的含磁铁高的矿渣。

3.2 氧的使用及能源需要量

诺兰达法很适于使用氧气。在所有炼铜方法中，诺兰达法能耗低并随着富氧增加而减少。在所有方法中其自热程度能需要量几乎相同，这由Kellogg和Henderson研究中已举例说明。在这些条件下表明需要 3.4×10^6 千卡/吨阳极铜（ 12.3×10^6 英热单位/短吨阳极铜）。在诺兰达法中，氧气对燃料使用和生产能力的影 响已分别论述了。在美国犹他的诺兰达反应炉使用高氧浓度操作。诺兰达霍恩冶炼厂氧气站的建设于1982年底竣工将实践高氧浓度操作。燃料补充的热量，对于两种不同类型的精矿随鼓风含氧浓度而变（见表2—3）。加拿大的黄铜矿是含铜—铅—锌的典型精矿，分析含Cu25%，Fe28%，S32%，SiO₂3.5%，Pb1.5%，Zn4%。辉铜矿精矿的数据是由诺兰达冶炼厂对恩昌加制定综合研究获得的。赞比亚铜矿，其精矿实际上是几种辉铜矿物的混合物，成分分析约Cu31%，Fe13%，S18%，SiO₂19%。黄铜矿精矿比辉铜矿精矿需要燃料少，氧浓度约40%时，前者实际上不需要燃料。反应炉的

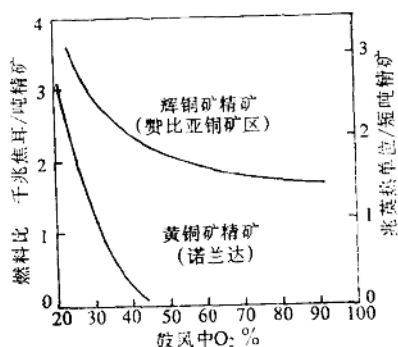


图 2—3 鼓风中富氧浓度对不同精矿燃料比率的影响，反应炉的这些曲线是犹他和霍恩冶炼厂生产高品位冰铜时测量的包括炉渣贫化产品，返料，烟尘的再循环。

这些曲线是在犹他和霍恩冶炼厂生产高品位冰铜（含70—75%Cu）时测量可得的，包括炉渣贫化产品，返料和烟尘的再循环。熔炼较低品位冰铜时应使富氧浓度保持40%以上，以减少熔炼炉废气体积，但由于增加吹炼量就增加了转炉废气体积，致使在熔炼炉中用富氧所获得的任何优点就完全没有了。在表2—3中辉铜矿精矿产生热量比黄铜矿精矿少，甚至在纯氧情况下，亦需要增加燃料。鼓风含氧50%以上时，增加氧气而燃料的减少是相当小的。

少量燃料的存在对炉温的控制有显著的优点。这种燃料可由天然气、油或各种混合的固体燃料供给。正确地装入这种少量燃料，诺兰达反应炉对黄铜矿炉料在约35%的氧气下操作所需燃料为任何熔炼方法所共有的阳极炉燃料相同。在辅助设备中，由于燃烧器对维持温