

硫化矿冶炼的进展

(下 册)

生产技术和实践

H.Y.索恩 D.B.乔治 A.D.曾凯尔 编

包晓波 邓文基 等译

黄其兴 校

冶金工业出版社

(京)新登字036号

内 容 简 介

本书译自美国采矿冶金石油工程师学会所属冶金学会1983年出版的论文集《ADVANCES IN SULFIDE SMELTING》。全书分两卷。I卷为硫化矿冶炼的基础理论，II卷为生产技术和实践。本书(下册)为第II卷，主要内容包括硫化矿物火法冶炼的通用技术及新的或发展中的方法，16个世界著名有色冶炼厂的生产实践现状和发展趋势，冶炼厂设计、操作、冶炼过程的经济及环境控制等内容，并给出有关参考文献。

本书可供大专院校冶金专业师生及从事有色金属冶金生产、科研、设计和管理工作的有关人员参考。

硫化矿冶炼的进展

(下 册)

生产技术和实践

H.Y.索恩 D.B.乔治 A.D.曾凯尔 编

包晓波 邓文基 等译

黄其兴 校

*

冶金工业出版社出版发行

(北京北河沿大街嵩祝院北巷39号)

新华书店总店科技发行所经销

冶金工业出版社印刷厂印刷

*

850×1168 1/32 印张 23 7/8 字数 637 千字

1991年 9 月第一版 1991年 9 月第一次印刷

印数00,001~1200册

ISBN 7-5024-0787-3

TF·179 定价19.30元

译 者 的 话

《硫化矿冶炼的进展》译自H.Y.索恩、D.B.乔治和A.D.曾凯尔合编、由美国采矿冶金石油工程师学会所属冶金学会1983年出版的《Advances in Sulfide Smelting》。原书分两卷。第Ⅰ卷为硫化矿冶炼的基础理论，共收集21篇论文；第Ⅱ卷为生产技术和实践，共收集论文35篇。

全书着重讨论了硫化矿冶炼的科学研究、工艺技术和工业生产，并通过世界上16个有名的冶炼厂实例，全面系统地介绍了以铜、镍、铅、锡为主的重金属火法冶炼的科学研究、工厂设计、生产方法和操作、经济 and 环境保护等内容，反映了本世纪80年代世界硫化矿冶炼的科研成果和生产技术现状及发展。

该书翻译出版的目的在于帮助我国广大冶金工作者了解国外硫化矿提取和生产的主要理论研究、科研成果、新技术和生产操作，针对我国有色金属工业的科研和生产现状，借鉴国外的经验，促进我国有色冶金工业的发展。

全书根据原书两卷的内容，分别译成上、下两册出版，本书为下册。

参加全书翻译工作的有包晓波（1、10、14、20、22、25、27、28、33、35、39、40、43、48篇）、邓文基（4、6、19、23、24、36、37、38、42、44、45篇）、陈素秋（3、5、7、13、18、31、34、52篇）、徐传华（8、21、41、46、54篇）、李织云（12、17、30、53篇）、马赛骏（22、47、55篇）、章伯垠（29、41篇）、张友余（9、26篇）、梁瑞珠（15、32篇）、邹一德（16、50篇）、罗庆文（2、49篇）、马跃华（11篇）、黄汉年（51篇）、覃国定（56篇）。上册由中南工业大学赵天从教授审校。下册由北京有色冶金设计研究总院黄其兴高级工程师审校。全书的翻译组织工作和书写格式、计量单位、技术名词及公司、工厂名称等的统一工作由包晓波、邓文基负责。

本书的翻译出版得到了中国有色金属工业总公司，特别是科技部副主任黄恩兆同志的鼎力支持，谨致谢意。

由于译者水平所限，书中难免有错误和不妥之处，在此恳请读者批评指正。

1989年8月

目 录

22. 硫化矿冶炼的新工艺·····	1
23. 复杂硫化矿的选择性焙烧·····	24
24. 砷含量高的复杂精矿的焙烧·····	51
25. 莫伦西冶炼厂的氧气喷撒熔炼·····	74
26. 铜连续吹炼新方法·····	93
27. 直接炼铜的工业意义·····	104
28. QSL法——一种新的准备工业化的炼铅方法··	118
29. 铅冶炼的发展趋势·····	134
30. 卡珀帕斯有限公司锡的烟化炉硫化挥发法的 发展·····	157
31. 铜熔炼过程中氧势的作用和工业纯氧的应用····	190
32. 硫化矿的电炉熔炼技术·····	245
33. 铜镍硫处理方法的改进·····	269
34. 现代工业化硫化矿冶炼厂的生产·····	275
35. 诺兰达霍内冶炼厂1965~1983年的操作情况····	297
36. 桑曼纽冶炼厂的新技术和新效益·····	312
37. 茵斯皮雷欣冶炼厂的生产过程控制现代化·····	334
38. 加斯佩铜冶炼厂采用单台P-S转炉吹炼时硫 酸车间和转炉的操作情况·····	352
39. 寻找一种环境容许的火法连续炼铜法·····	371
40. 基德冶炼厂的投产和早期操作·····	388
41. 赞比亚穆富拉电炉熔炼工艺的新进展·····	416
42. P-S铜转炉采用高压风吹炼·····	437
43. 玉野冶炼厂的最新改进·····	455
44. 博茨瓦纳B.C.L.有限公司闪速熔炼的 发展·····	475

45. 用喷吹碱性熔剂法从熔融铜中脱除杂质·····	501
46. 用不同试验方法从有色冶金炉渣中浸出有毒 金属的可能性·····	517
47. 加拿大铜、镍冶炼厂二氧化硫的散发问题·····	529
48. 现代熔炼过程中砷的控制·····	555
49. 基德·克里克冶炼厂对净化环境的保证·····	569
50. 闪速熔炼厂烟气冷却和净化的最优化·····	588
51. 现代熔炼厂二氧化硫处理系统的安排·····	606
52. 烟气净化技术的进展·····	623
53. 从冶炼厂副产的硫酸中脱“硝酸盐”·····	635
54. 硫化矿冶炼过程的经济问题·····	645
55. 炼铜厂的厂址选择·····	690
56. 冶炼厂投产经历对经济效益的影响·····	709
参考文献·····	721

22. 硫化矿冶炼的新工艺

加拿大魁北克潘特克莱尔诺兰达研究中心

P.J. 麦基(Mackey) P.塔拉索夫 (Tarassoff)

摘 要

本文简短地评述铜、镍、铅、锌熔炼正在出现的新工艺和成熟的工艺。尽管有色金属工业面临着严重的经济困难,但是当代可采用的新工艺的种类和数量仍然比过去任何时候都多,人们对新工艺的兴趣和开发一直保持积极的态度。促成这一积极态度的动力是基于这样一种认识,即只有降低生产成本才能保持工厂的竞争力,而采用新工艺是提高经济效益的关键。

目前工业上所谓成熟的“新的”炼铜法可以看作是传统的工艺,并且预计这种新工艺一段时期内在铜熔炼方面仍占支配地位。人们对铜的连续吹炼的兴趣正在增加,但是,在一个炉子中直接熔炼和吹炼铜仍然处于理想阶段。镍冶炼的技术开发工作做得较少。在研究了多年之后,几种新的直接炼铅法有希望很快在工业上实现。估计锌的电解法继续占支配地位,但是火法炼锌再度引起人们的兴趣。一种新的炼锌法和一种钼的熔炼法都显示出等离子体技术在有色冶金上应用的可能性。在复杂硫化矿的领域中,对处理混合精矿的兴趣不大,而更感兴趣的是处理所谓脏的铜精矿。

许多熔炼的辅助技术相对来说没有多大变化,所以需要更多的力量来促进这个领域技术的发展,例如,原料的处理,烟气净化,硫的回收以及能量的回收。将更多的注意

力放在工程设计上也是需要的。逐步提高的投资费用可能使得小型冶炼厂对人们有吸引力，但是需要理想的工艺和创新的设计，以提高其成本效果。最后简要地介绍未来的冶炼厂。

有色金属的需求

在评述正在出现的硫化矿熔炼新工艺的发展时，首先需要预测一下在今后几十年内有色金属大概的需求量和需要增加的新冶炼厂的能力。目前，有色金属冶金工业正处在一个需求量和价格非常萧条的时期。1982年，铜的消费量经过连续三年下降，价格跌到了第二次世界大战以来的最低水平。同样，铅的需求量也是连续三年减少，价格处于非常低的水平。在北美洲，锌的消费量降低了20%，价格疲软。因此造成现有的生产能力普遍减少，工厂关闭，许多新的项目延缓建设。

展望未来，预计需求量有些增加。从现在到2000年，铜的生产能力需要新增约250万吨，铅需要增加60万吨，锌需要增加70万吨。发展中国家的产量也将继续增加。由于严格的环境保护法，大多数厂家的成本效果将受到很大的影响。

新增的有色金属产量将来自两个方面：（1）由于新矿山的开采或发展中国家为了增加本国生产能力而新建的工厂；（2）现有工厂的扩建、改造和现代化。在未来，前者，即新建项目受到投资费用高的限制，而后一条道路能用较低的费用来改造老厂，使老厂既可提高生产能力，又可满足环保的要求，从而越来越受欢迎。

新 工 艺

毫无疑问，当代成熟的或者新出现的有色金属熔炼新工艺的种类和数量比过去任何时候都多，人们对这些新工艺的兴趣更大，因为他们认识到，只有成本效果好的生产厂家才能最终保持竞争力，这就要求有效地应用新工艺。因此，尽管有色冶金工业

经济萧条，但人们仍做了巨大努力来验证新工艺，改进旧工艺和评价可用的工艺。

发展新工艺需要很高的费用和很长的时间，这使得一个完整的新工艺的发展速度很缓慢。由于现有比较新的工艺能满足增加生产能力、降低能量消耗、符合环保要求的需要，因而对发展全新的工艺积极性不大。看来我们正趋近于能量效率和单位生产能力的极限。人们可能会问，铜是否真的需要更新铜冶炼工艺，还是进一步完善和改进已经开发的工艺，充分发挥其潜力。还可能问，是不是该把更大的研究和发展力量投到整套冶炼技术的其他方面。

铜 熔 炼

除了焙烧-还原熔炼外，所有铜的熔炼方法可分为^[1]“熔池熔炼”和“闪速熔炼”。熔池熔炼就是熔炼和吹炼在一个熔池里完成，精矿与液体渣和铜锍直接接触。铜锍的吹炼是通过把空气或者氧气喷到熔体里面或者喷到熔池表面进行的。闪速熔炼是使精矿分散在空气或氧气流中，熔炼和吹炼实质上是在精矿下降的过程中完成的。

工业上成熟的熔炼和吹炼方法的分类列于表22-1。现在人们认为这些方法是“传统的”熔炼工艺，并预计在一定时间内它在炼铜工艺中仍占支配地位，见图22-1。正如凯洛格(Kellogg)、亨德森(Henderson)^[2]和其他人论述的，这些方法的能量效率和氧气的使用有密切关系。氧气对熔炼的能量需要及铜锍品位的影响见图22-2。

正在出现的炼铜新工艺列于表22-2，它们都处在不同的发展阶段，其中苏联的方法是最新的。从专利说明书^[3]得知，这种方法可以叫做起泡熔炼。该法采用水冷式侧壁的固定炉子，该炉子类似于锌烟化炉，在静止的炉渣和铜锍或者金属的熔体上面保持一层炉渣铜锍泡沫层，此层通过风口鼓进富氧空气，熔体保持强烈的搅动，精矿、熔剂和碳质燃料加到泡沫层里。当停止鼓风

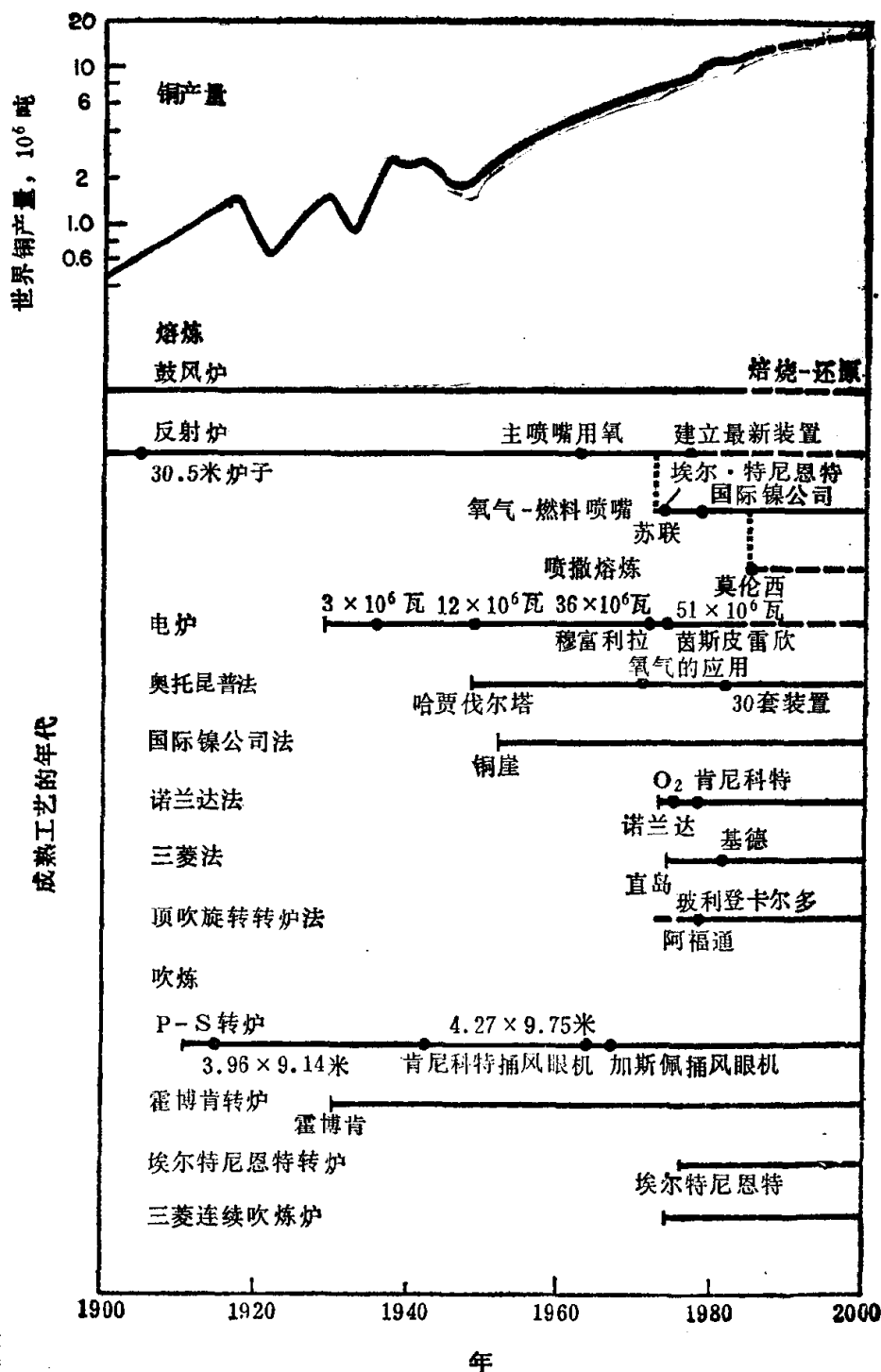


图 22-1 铜熔炼和吹炼方法的历程

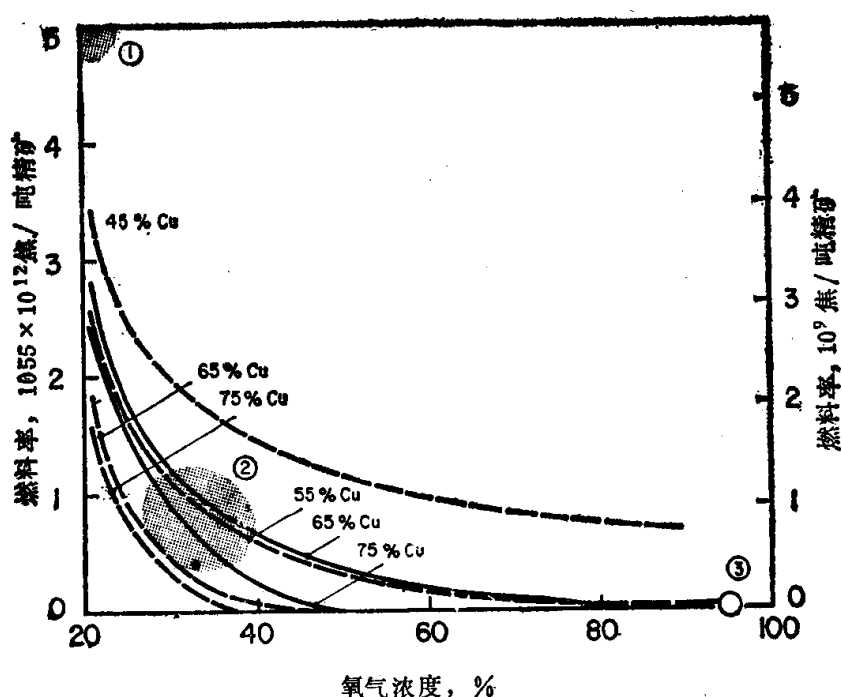


图 22-2 氧气浓度和铜铈品位对燃料率的影响
(黄铜矿精矿100 000吨铜/年)

时，泡沫下沉，风口便暴露在熔池上方。炉渣、铜铈或者金属连续地通过隔墙从炉子溢出。这种方法有助于炉渣在炉子中分区的还原，贫化。苏联的日处理1500吨的炉子已经投产^[4]。这种新炉子的熔炼强度（75吨/（日·米²））和其他熔池熔炼法^[1]一样，甚至比其他方法的熔炼强度更高。

四种新出现的闪速熔炼法示于表22-2，这几种新方法全部经过了半工业试验或预定生产规模的试验。基夫塞特炼铜法不同于下面讲的基夫塞特炼铅法。它是在一个卧式炉子的顶部安装旋涡反应塔，精矿在旋涡反应塔里用氧气进行熔炼。在卧式炉子的后面带有一个炉渣贫化电炉^[25]。据报道，本世纪60年代末期苏联有一个日处理400吨铜-锌精矿的工厂一直在生产。克哈德(KHD Humboldt Wedag)公司研制的熔炼和吹炼结合在一起的旋涡顶吹法，同样是用了一个旋涡反应塔，从旋涡反应塔产出高品位铜铈

表 22-1 成熟的炼铜方法

A. 熔炼

熔池熔炼

三菱法^[6~7]

诺兰达法^[7~8]

埃尔·特尼恩特转炉^[10]

顶吹旋转转炉或玻利登卡尔多(Boliden kaldor)转炉^[11~12]

氧气燃料反射炉^[10, 13]

电炉^[14]

闪速熔炼

奥托昆普法^[15~16]

国际镍公司法^[17~18]

B. 吹炼和精炼

熔池吹炼

P-S转炉^[19]

霍博肯虹吸式转炉^[20]

三菱法转炉^[21]

表 22-2 正在出现的炼铜新工艺

熔炼

熔池熔炼

起泡熔炼^[3]

浸没熔炼^[28]

QS法^[22]

闪速熔炼

旋涡顶吹法^[5, 23~24]

基夫塞特法^[25]

喷撒熔炼^[26]

火焰旋涡熔炼

还原熔炼

阿马克斯焙

烧-还原法^[27]

吹炼

熔池吹炼

高品位铜铈连续吹炼

闪速吹炼

肯尼科特闪速吹炼^[29]

喷雾吹炼^[30]

直接熔炼^①

熔池熔炼

诺兰达法^[31]

闪速熔炼

奥托昆普法^[32~33]

① 在一个炉子里直接炼铜。

和含氧化铁高的炉渣，炉渣的贫化也是在同一个炉子里的沉淀和渣贫化段内进行(见图22-3)，还原用顶吹超音速喷枪进行。铜铈通过一个短流槽进到第二个卧式炉，从顶部鼓入空气将铜铈吹炼

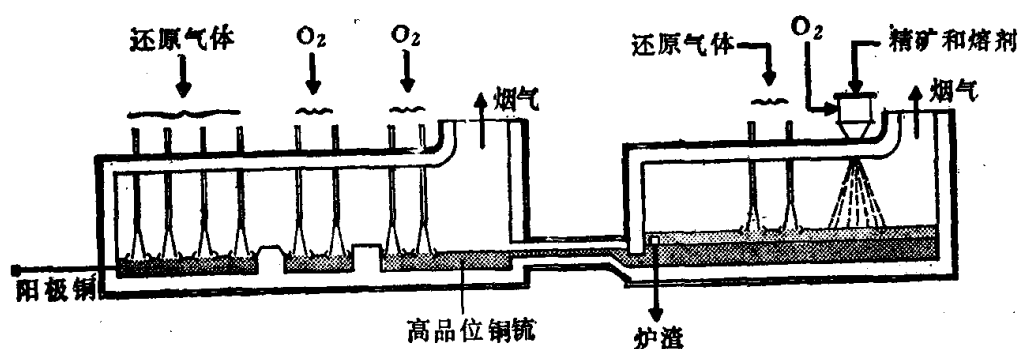


图 22-3 旋涡顶吹法

成粗铜，粗铜经过氧化、还原，产出阳极铜。据称，旋涡顶吹法特别适于处理能力不大的冶炼厂，并适于处理含杂质多的精矿。精矿含有的杂质可以在旋涡炉的高温下挥发。在联邦德国有一个规模为日处理24吨精矿的半工业试验工厂。

喷撒熔炼^[26]实质上是在现有的反射炉中进行闪速熔炼。专门设计的广角精矿喷嘴，延长精矿在气流中停留的时间，否则由于反射炉的空间高度低，精矿停留的时间短。喷撒熔炼可以增加原有反射炉的生产能力、改善能量的利用率、提高烟气二氧化硫的浓度。这种方法正在美国亚利桑那州的菲尔普斯·道奇公司莫伦西冶炼厂进行试验。这个项目包括建设一个日产500吨的氧气厂、一个新的精矿干燥系统和改造5台反射炉中的2台。炉子将按两种氧气熔炼的模式进行操作。一种是在顶部用氧气-燃料喷嘴熔炼，另一种是氧气-喷撒熔炼。喷撒熔炼的生产试验目前正在3号反射炉进行，很快就可以得出结论。显然，喷撒熔炼的目的在于用来改造现有反射炉，它将和已经建立的氧气-燃料熔炼竞争。后者的缺点是产生大量 NO_x ，然而，这个缺点可以用改进喷嘴的设计解决。

澳大利亚的联邦科学与工业研究组织 (CSIRO)研究的浸没熔炼法^[28]是一种熔池熔炼的装置，在该装置中，制成粒状的精矿用空气和燃料通过一个浸没在熔池中的喷枪喷到固定的圆形炉子

里。如玻利登的卡尔多法一样，浸没熔炼法也是间断作业：在熔炼和沉淀后，先放出初期渣，然后依次把铜铈吹炼成白铜铈和粗铜。在熔炼阶段中，能产出弃渣。这种方法的基本原理已经在大型实验室规模的试验中得到证实，经过改进后的炉子已经作了处理含锡的低品位铜精矿半工业试验。浸没熔炼法在工业上应用于粗铜熔炼之前，还有大量的研究工作要做。

在其他方法被充分证实之前，莫伦西的喷撒熔炼对于要试验新工艺的铜冶炼厂将具有更大的吸引力。当前有一种趋势是在研究新工艺时各公司间将进行更多的合作。例如，在今年早些时候^[34]，智利铜业公司和诺兰达公司宣布他们将共同进行研究，以推进他们各自的熔池熔炼工艺——埃尔·特尼恩特转炉和诺兰达法。在闪速熔炼方面，鲁奇的北德精炼厂和多伊斯切-巴布科克（Deutsche Babcock）正在联合研究一种新的火焰旋涡熔炼法。在北德精炼厂，有一个每小时大约处理7吨精矿的半工业试验厂，试验计划包括对复杂硫化矿精矿的试验，以测定某些重金属的高温挥发率。这个研究的一个重要方面是它涉及有色金属冶炼和发电两个不同工业部门之间的技术转移。看来不但应该重视不同工业部门之间的技术转移，而且更应该重视在同一个工业部门中的不同部门（例如钢铁工业和有色金属工业）之间的技术转移。

直接炼铜法

在单独炉子中直接和连续炼铜仍处于理想阶段。三菱法和旋涡顶吹法虽然能连续生产铜，但是要使用两个或者更多的单独设备。在工业上已经使用的在单独炉子中直接生产铜方法的仅有奥托昆普的闪速熔炼法和诺兰达的连续熔炼及吹炼法。波兰的格沃古夫（Glogow）第二冶炼厂直接用奥托昆普法^[32,33]将含Cu 23%，Fe 3%，S 8%的低铁铜精矿炼成粗铜。扎伊尔目前已经暂停的P2项目也是采用1台奥托昆普型闪速炉直接用高铁铜精矿生产铜。据报道，用奥托昆普法处理黄铜矿精矿直接炼铜也是成功

的。

在诺兰达的霍内 (Horne) 冶炼厂, 诺兰达法的头两年操作是用黄铜矿精矿直接生产粗铜, 每天处理精矿量730吨, 效果很好。为了提高产量, 以后改为生产铜铈^[35]。最近, 在几个新的铜冶炼厂项目中正在认真考虑用诺兰达法直接生产粗铜。

直接炼铜的主要问题是某些微量元素, 特别是铋、锑和砷的去向问题。在直接熔炼系统的三相中, 由于热力学稳定性的变化, 它们将有进入铜中的趋势^[36]。这样一来, 就对处理精矿的杂质含量提出某些限制, 但可以采用预处理和后处理的方法来解决精矿中的杂质问题。这个问题及其解决办法即使在铜铈熔炼中也是存在的, 当然也能扩大到直接炼铜的范围。

熔炼方法的经济分析表明, 直接炼铜法的费用是最低的, 可以预期直接炼铜法将会占有重要的地位。

铜 的 吹 炼

看来铜吹炼的变化与铜熔炼工艺的变化已不相适应, P-S转炉在生产了70多年后仍然是铜工业的主要支柱。虽然在机械方面和冶金方面采取了许多改进措施, 但是设计的基本原理是相同的。此转炉与新方法的成本效果不一定相同。霍博肯转炉或虹吸式转炉与P-S转炉的不同之处是, 它有一个和炉体连成一个整体的烟气排出口和一个特殊的铜铈和熔剂的加入口, 霍博肯或虹吸转炉已经成功地操作了几十年, 但是它还是没有被广泛采用。最近的发展是有两个炉口的茵斯皮雷欣 (Inspiration) 转炉 (见图22-4^[37])。一个口作为烟气出口, 转炉在正常位置时该口全部被烟罩盖住; 另一个较小的口用于加铜铈、熔剂、冷料和扒渣。

由于连续吹炼法能克服现在的间歇吹炼以下缺陷, 因而它的重要性正在增长:

- 1) 铜铈和炉渣反复用包子运输, 造成烟气逸散;
- 2) 间歇吹炼的作业率低 (40~70%), 烟气中 SO_2 浓度低, 相应地增加了烟气处理和硫酸生产的费用;

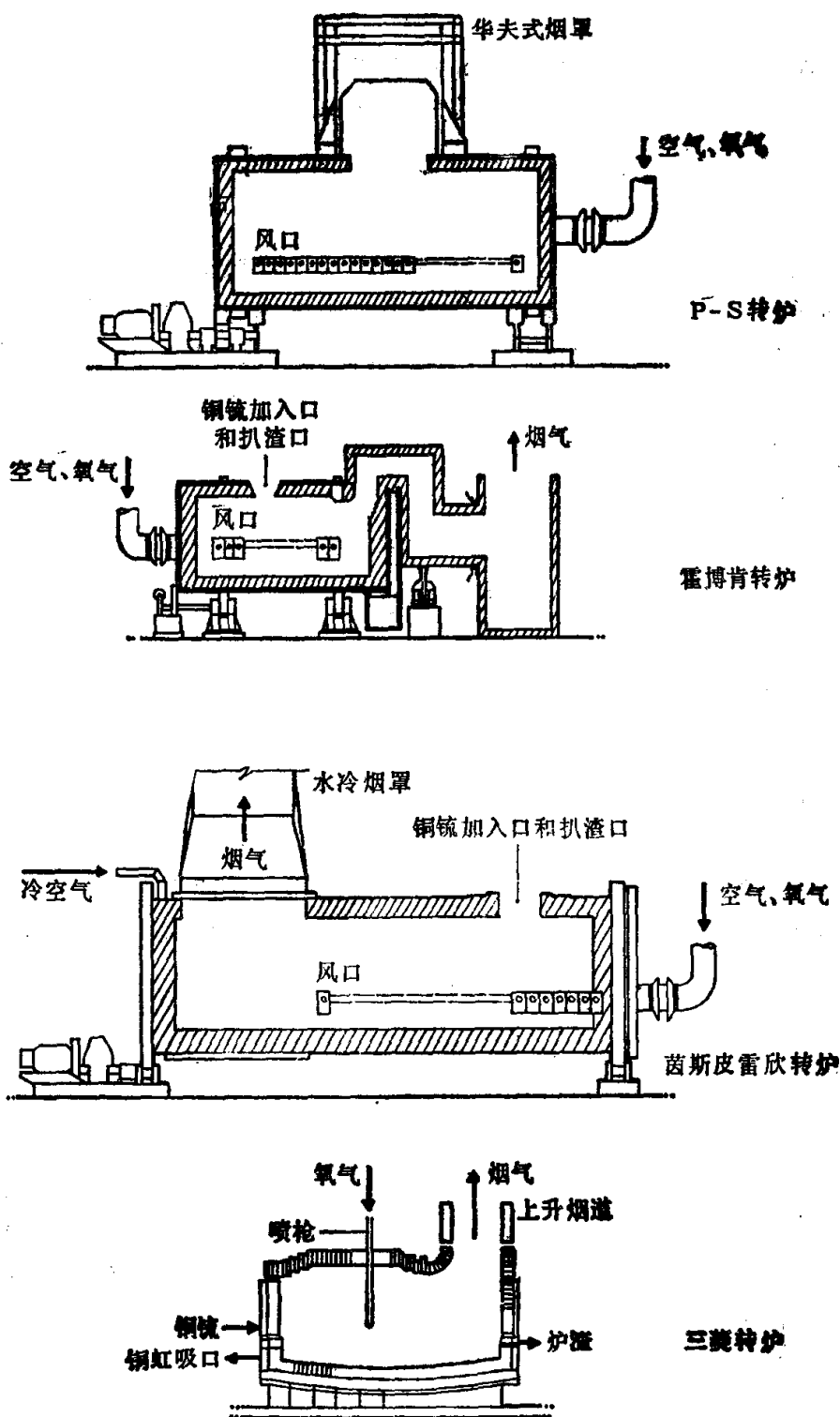


图 22-4 铜转炉的发展

3) 热负荷和熔体成分均呈周期性变化, 降低了耐火材料的寿命。

用于工业生产的连续吹炼炉仅有日本的直岛 (Naoshima) 冶炼厂和加拿大安大略省蒂明斯 (Timmins) 基德 (Kidd) 冶炼厂^[89]的三菱法^[21]转炉。这种转炉是在顶部装有吹炼喷枪的固定式圆型炉子(图22-4)。目前, 三菱法转炉使用情况很好, 但是, 这种炉子要求有连续、均匀而且品位固定的铜铈液流。它是否能和其他熔炼方法, 如熔池熔炼或者闪速熔炼配合使用还需要进一步研究。

北美洲和欧洲的炼铜厂对连续吹炼也做了许多工作, 几种方法正处于不同的发展阶段。作为旋涡顶吹法一部分的连续吹炼-精炼过程前面已叙述。据报道^[38], 国际镍公司铜闪速炉铜铈连续吹

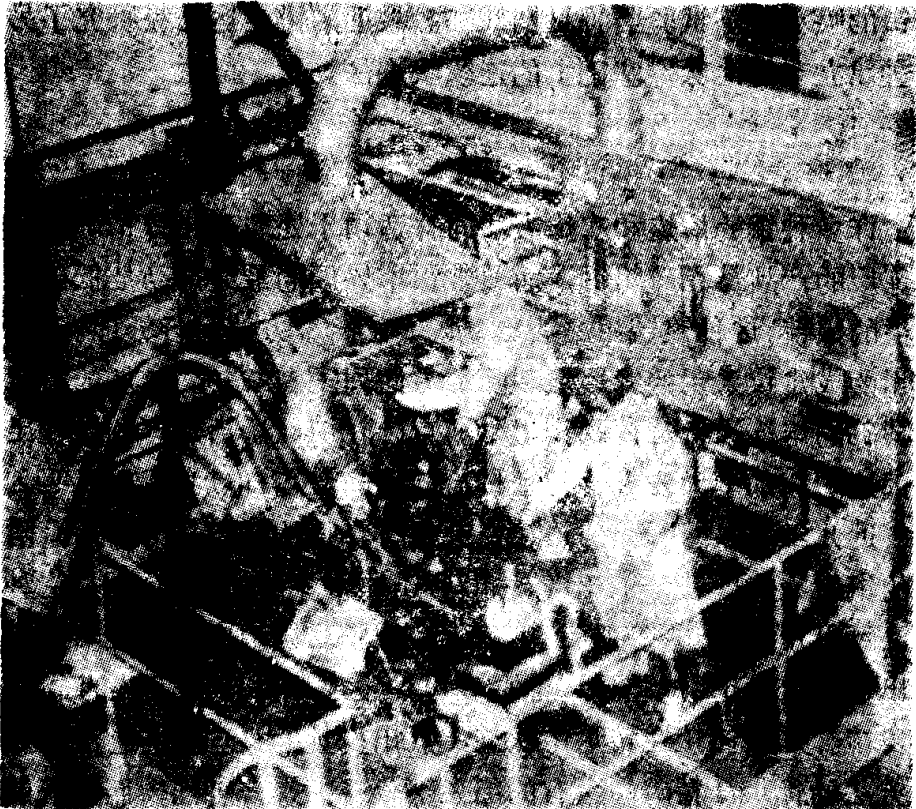


图 22-5 诺兰达研究中心的喷雾吹炼半工业试验装置
(处理能力: 0.5吨铜铈/时)