

冶金生产技术丛书

YEJIN SHENGCHAN JISHU CONGSHU

密闭鼓风炉炼铜



冶金工业出版社

冶金生产技术丛书

密闭鼓风炉炼铜

东北工学院重冶教研室 编著

冶金工业出版社

冶金生产技术丛书

密闭鼓风炉炼铜

东北工学院重冶教研室 编著

*

冶金工业出版社出版

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 5 7/8 字数 148 千字

1974年7月第一版 1974年7月第一次印刷

印数 0,001~6,490册

统一书号: 15062·3096 定价(科三) 0.58 元

出版说明

在毛主席的无产阶级革命路线指引下，冶金工业战线上的广大职工，继续贯彻执行**鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义**的总路线，高举“**鞍钢宪法**”的光辉旗帜，坚持**独立自主，自力更生，艰苦奋斗，勤俭建国**的方针，**抓革命，促生产**，不断地取得革命与生产的新胜利。

为了适应冶金工业发展的需要，我们组织编写了一套《冶金生产技术丛书》，介绍冶金工业采矿、选矿、有色金属冶炼和加工、炼铁、炼钢、轧钢、金属材料等有关生产技术操作的基本知识，将分册陆续出版，供冶金工人阅读，并给从事于冶金工业的技术人员和干部参考。

《密闭鼓风炉炼铜》是从书中之一种。书中对我国铜精矿密闭鼓风炉熔炼的技术，进行了系统的总结，并叙述了冰铜吹炼过程等内容。本书是由东北工学院重冶教研室炼铜小组负责编写的，他们深入现场，与沈阳冶炼厂鼓风炉工段组成三结合小组，共同总结了密闭鼓风炉生产经验，而且在编写过程中，还得到了富春江冶炼厂、常州冶炼厂等单位的大力支持。

书中可能存在不足之处，恳切希望读者批评指正。

一九七三年十一月

毛主席语录

鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义。

人民，只有人民，才是创造世界历史的动力。

一个粮食、一个钢铁，有了这两个东西就什么都好办了。

入门既不难，深造也是办得到的，只要有心，只要善于学习罢了。

目 录

第一章 铜精矿密闭鼓风炉熔炼	1
第一节 密闭鼓风炉熔炼概述	1
第二节 铜精矿密闭鼓风炉熔炼的基本原理	6
第三节 密闭鼓风炉的结构及附属设备	27
第四节 密闭鼓风炉的操作	47
第五节 密闭鼓风炉熔炼的产物	58
第六节 密闭鼓风炉熔炼的技术条件及 技术经济指标的分析	99
第七节 密闭鼓风炉熔炼的配料计算	107
第二章 冰铜吹炼	110
第一节 冰铜吹炼的工艺及其原理	111
第二节 转炉及其主要附属设备	146
第三节 烟气、烟尘及转炉渣的综合利用	162
第四节 转炉吹炼的技术经济指标及其分析	169
第五节 吹炼过程的新方法——冰铜连续吹炼	175

第一章 铜精矿密闭鼓风炉熔炼

第一节 密闭鼓风炉熔炼概述

一、密闭鼓风炉熔炼流程及优缺点

鼓风炉炼冰铜是一种历史悠久的冶炼方法，这种方法适应性强，能处理大多数硫化矿和氧化矿，床能率高，热利用率高，所以多年来，在世界上是一种重要的炼铜方法。但是传统的鼓风炉炉顶是敞开式的，只能处理块矿或烧结块，所产烟气二氧化硫浓度低，不易有效回收，造成烟害。因此人们努力寻求改进途径，在这种形势下，出现了一种改良的鼓风炉，即密闭鼓风炉，用来直接处理细粒铜精矿。该法在国外叫“百田”法。我国炼铜工业战线上的广大革命职工在毛主席革命路线指引下，坚持**独立自主，自力更生，艰苦奋斗，勤俭建国**的方针，在很短时期内，便试验成功适合我国具体情况的密闭鼓风炉，并投入工业生产。伟大的无产阶级文化大革命的胜利，大大促进了生产的发展。近年来，密闭鼓风炉熔炼技术获得了更迅速的发展。

用密闭鼓风炉熔炼冰铜，实质上 and 敞开式鼓风炉炼冰铜一样，均属氧化熔炼，但是这种熔炼法又与敞开式鼓风炉熔炼不完全一样，主要的区别是密闭鼓风炉的炉顶有加料斗，细粒硫化铜精矿不需预先进行烧结焙烧，只要加水混捏后就直接从加料斗加到炉内，形成严密的料封，烟气从设于炉口顶盖下的排烟口排出，经净化除尘后，送去制硫酸。为了比较密闭鼓风炉熔炼和敞开式鼓风炉熔炼的异同及优缺点，现将二者流程列于图1及图2。

比较两种流程，可以清楚地看到密闭鼓风炉熔炼有以下优点：

1. 提高了烟气二氧化硫浓度。敞开式鼓风炉熔炼时，烟气

二氧化硫浓度仅 0.5% 左右，而密闭鼓风炉熔炼时，烟气二氧化硫浓度可达 4~5% 甚至更高，这种烟气经净化除尘后可直接制硫酸。这不仅使精矿中的硫得到综合利用，而且消除了长期以来未能解决的鼓风炉烟气对农作物和人民健康的危害，这正是密闭鼓风炉熔炼法的最大优点。

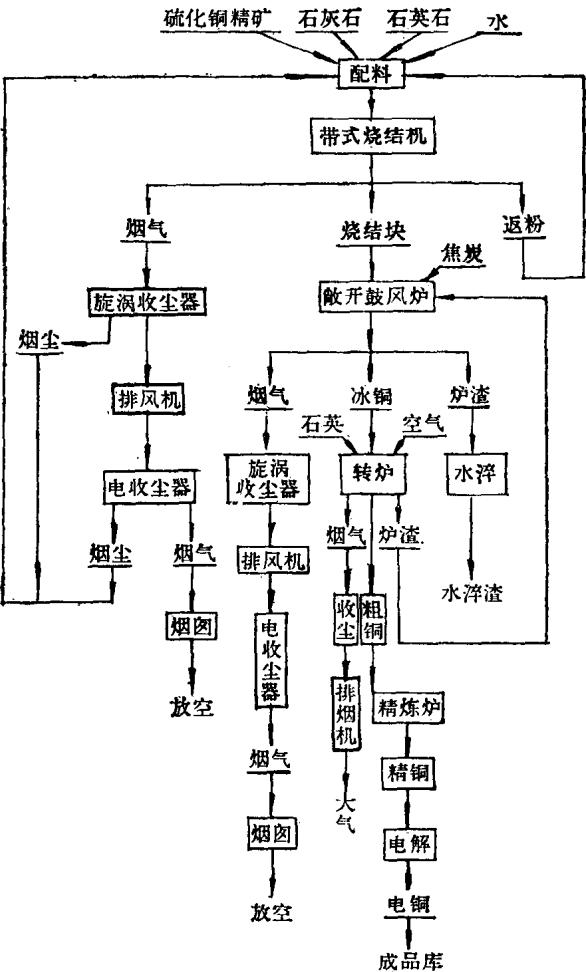


图 1 敞开鼓风炉炼铜流程

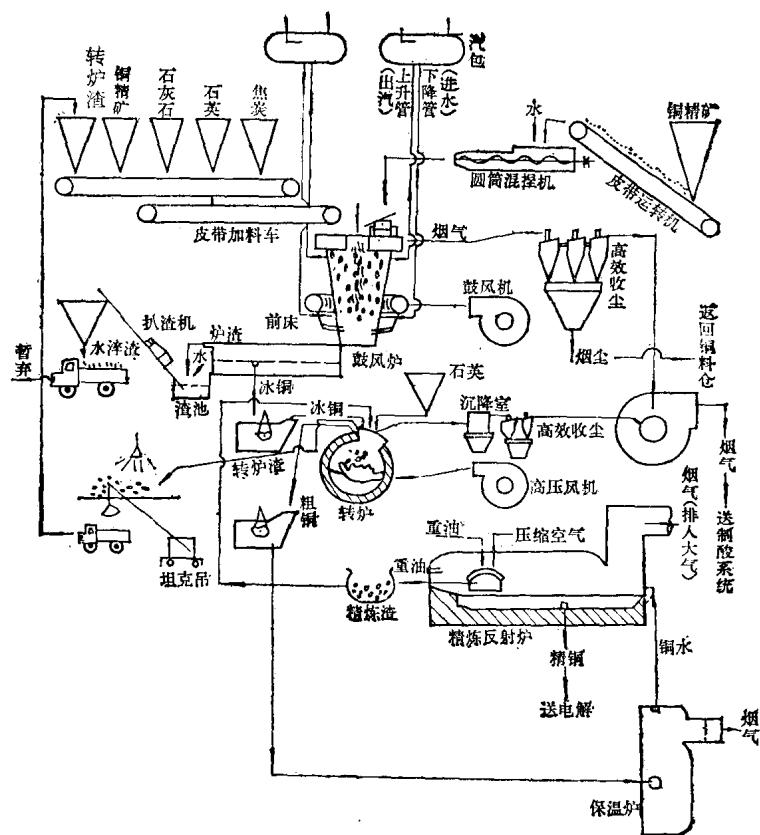


图 2 密闭鼓风炉炼铜流程图

2. 从浮选所得的细粒硫化铜精矿，不需预先进行烧结焙烧，只要加水混捏后即直接加到炉内，从而简化了流程，省去了庞杂的烧结设备，因此便于中小工厂采用。

3. 对旧企业改造而言，可以利用原有敞开鼓风机设备和操作技术，所以易于向密闭鼓风机流程过渡。

对密闭鼓风机也要一分为二，它既有优点，也有缺点，密闭鼓风机的主要缺点是：

1. 床能率低。敞开鼓风炉熔炼床能率可达100~160吨/米²，而密闭鼓风炉熔炼由于处理的是细粉料，目前床能率仅达50吨/米²左右。若要进一步提高床能率，势必加强细粒精矿的预备处理，如制团、制粒或制砖。这样一来虽然取消了烧结设备却又增添精矿预备处理的其它设备；

2. 冰铜品位低。敞开鼓风炉熔炼所产冰铜一般品位为30~45%，而采用密闭鼓风炉熔炼时，由于取消了烧结焙烧，使得精矿在密闭鼓风炉内的脱硫率低于用烧结焙烧-敞开鼓风炉熔炼的总脱硫率，从而得到的冰铜品位仅为22~30%。冰铜品位低，给转炉吹炼带来很大困难，使转炉炉衬损坏加剧，缩短了炉寿，增大了耐火材料单耗，并延长了吹炼作业时间。

综上所述，尽管密闭鼓风炉熔炼还有一些缺点，但是从目前我国炼铜工业的实际情况出发，它对原有敞开式鼓风炉流程的改造有一定意义。

还必须指出，密闭鼓风炉熔炼技术总是不断发展的，虽然我们已取得了很大成绩，但是至今对它的规律性认识仍然是不够的，我们还应不断地总结经验，并加强对此法的试验研究，以发展此法的优点，克服或减小其缺点，使此法日益完善。

二、密闭鼓风炉熔炼的主要含铜原料

我们知道，铜在自然界分布不太广，其量约为0.01%。铜常呈自然金属铜形态和化合物形态（矿物）存于自然界。含铜矿物的种类比较多，目前已知的即达240种以上，但不是所有含铜矿物均可作为炼铜原料，仅仅是少数能形成矿床，并具有工业开采价值的矿石才能作炼铜之用。

铜矿分自然铜、硫化铜矿和氧化铜矿三大类。其中以硫化矿分布最广，意义较大。密闭鼓风炉处理的矿石主要也是硫化矿。硫化矿中分布最广的是黄铜矿（ CuFeS_2 ），其次是斑铜矿（ Cu_5FeS_4 ）和铜蓝（ CuS ）、辉铜矿（ Cu_2S ）等。

在铜矿石中除含铜矿物外还伴生有其它金属矿物和脉石矿

物。硫化铜矿中常见的金属矿物为黄铁矿 (FeS_2)、磁硫铁矿 (Fe_7S_8)，其次有闪锌矿、方铅矿等。铜矿石中的脉石矿物普遍是石英，其次是方解石、长石等。它们的成分是 SiO_2 、 CaO 、 MgO 及 Al_2O_3 等。这些脉石成分对造渣过程有很大意义。

由于硫化矿是一种复杂的多金属矿，含铜量较低 (0.5~5%)，一般不宜直接加到密闭鼓风炉进行熔炼。否则冶炼过程将变得更复杂，成本高、铜和有色金属的综合回收率低，所以在入炉之前要先经选矿处理 (常用浮选法处理)。经选矿处理所得含铜品位较高的矿石称为铜精矿。铜精矿粒度较小 (通常 90% 小于 0.07 毫米)，含铜约 10~25%，这是炼铜的主要原料。表 1 列出密闭鼓风炉炼铜的几种主要铜精矿成分。

铜 精 矿 成 分 (%)

表 1

序号	Cu	Fe	S	Zn	SiO_2	CaO	MgO	Al_2O_3
1	13.63~ 16.34	28.96~ 32.70	30.82~ 34.82	6.80~ 11.98	6.80~ 11.98	0.14~ 1.53	0.30~ 1.30	—
2	11.26~ 12.66	31.04~ 32.85	30.82~ 32.37	—	8.73~ 11.09	0.57~ 1.05	0.65~ 2.68	—
3	14~17	24~30	24~30	—	14~20	—	—	1~4
4	12.00	15.00	12.00	0.30	18.50	12.00	8.00	0.8
5	12.00	32.00	39.00	9.00	3~8	0.75	0.54	0.80
6	18.60~ 18.87	21.39~ 22.47	20.55	0.18	15.43~ 18.40	2.34~ 2.02	0.75~ 1.12	石墨性炭 6.4~8%
7	13.24~ 13.51	19.69~ 22.49	16.48~ 18.53	—	23.58~ 29.92	0.53~ 1.43	3.33~ 6.18	—
8	18.31	33.78	31.82	0.193	6.14	2.68	0.54	1.18

我国铜矿资源几乎遍及全国各省，主要是含铜黄铁矿、黄铜矿等原生硫化矿，一般说来我国硫化矿的品位较低，矿石性质比较复杂，原生矿与次生矿交错混杂，并有大量多金属伴生，所以某一种矿能否用密闭鼓风炉处理要具体分析，密闭鼓风炉对所用矿的特性要求在后面有阐述，此处不予赘述。

第二节 铜精矿密闭鼓风炉熔炼的基本原理

毛主席教导我们：“认识的真正任务在于经过感觉而到达于思维，到达于逐步了解客观事物的内部矛盾，了解它的规律性，了解这一过程 and 那一过程间的内部联系，即到达于论理的认识。”铜精矿密闭鼓风炉熔炼经过长期的实践，积累了丰富的经验，为我们深入了解此种熔炼的实质，以便在总体上和内部联系上掌握它，提供了十分有利的条件。现对这种熔炼的一些基本原理探讨于下。

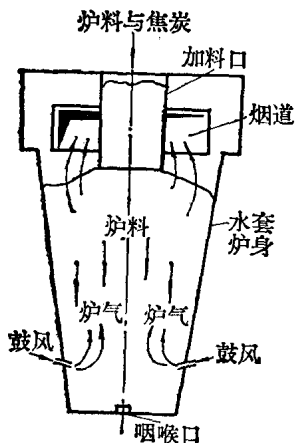


图 3 密闭鼓风炉示意图

铜精矿密闭鼓风炉熔炼的示意图列于图 3。炉料及焦炭（燃料）经炉顶加料斗，按焦炭-转炉渣（吹炼炉渣）-熔剂-混捏铜精矿等的次序加入炉内。炉料自上而下地运行。

空气从风口鼓入，在风口附近使焦炭燃烧，产生比较高的温度（可达 $1250\sim 1300^{\circ}\text{C}$ ），鼓风量除了保证焦炭燃烧外，有较大的过量，以便维持炉内呈氧化性气氛，满足一部分硫化物氧化的需要。

高温炉气自下而上，恰与炉料逆向运动，并进行热交换，使炉料逐渐受热，而完成各种冶金过程，从而得到冰铜、炉渣、烟气、烟尘等几种熔炼产物。随后，熔融物借鼓风压力和自身的重力经本床和咽喉口流入前床澄清分离。烟气在上升的过程中，温度逐渐下降（从 $1250\sim 1300^{\circ}\text{C}$ 降到 $450\sim 600^{\circ}\text{C}$ ），其含氧量也逐渐减少，而 SO_2 浓度却不断升高，然后离开料面，经烟道送去净化制酸。

由于鼓风炉熔炼的炉气与炉料逆向运动，它的热利用率比较

高，而且气相组成对熔炼的性质影响也很大。

铜精矿密闭鼓风炉熔炼是属于半自热氧化熔炼的一种类型。炉气中含有较多的游离氧，为氧化性气氛。冶炼过程所需的热量由焦炭燃烧和过程本身的放热反应来供给的。

下面分别就炉料、烟气、温度在炉内的分布状态，以及炉内冶金过程等问题进行讨论。

一、炉料在炉内的分布状态

炉料在炉内的分布状态包括物理组成（如粒度大小）和化学组成两大部分，它对冶炼过程有较大的影响。

装入鼓风炉的各种炉料，其物理性质和化学成分都不相同。例如某厂1971年10月份的每批炉料的重量组成为表2所示，其块率约为35%。

某厂的每批炉料组成

表 2

每 批 炉 料 组 成	重 量 (公斤)	占 比 例 (%)
焦 炭	48	8.36
吹炼炉渣	155	27
石灰石 (熔剂)	20	3.54
混捏铜精矿	350	61
合 计	573	100

虽然块率容易称量和计算，并在生产上也用得较多，但在探讨炉料在炉内的分布状态时，块料的容积比（包括焦炭）意义更大。因为，块料的容积比直接关系到炉内料柱的透气性，而料柱的透气性又对炉气的流通影响甚大。若料柱的透气性很差，则炉气难于通过料层，因而各种冶金过程也难于实现，于是恶化了炉况，甚至有引起死炉的危险。

上述料批的块料容积比可以根据各种炉料的堆比重换算出来，现将结果列于表3。

某厂鼓风机炉的块料容积比

表 3

组 成	形 状	块 度 (毫米)	堆 比 重 (吨/米 ³)	重 量 (公斤)	容 积 (米 ³)	容 积 比 (%)
焦 炭	块	20~120	0.56	48	0.09	53
吹炼炉渣	块	20~120	2.50	155	0.08	
石 灰 石	块	30~120	1.35	20	0.02	
混捏铜精矿	牙膏状	—	2.07	350	0.17	47

从上表可见，该厂的块料组成与混捏铜精矿的容积比约为 1:1。当然这个比值随炉料在炉内的下降而变化。但是，在炉子的中上部变化不大。换句话说，在炉子中上部，块料的容积约占整个炉料容积的一半以上。

由于炉内各处的熔炼速度不平衡（其理由以后讨论），造成了炉料在炉子水平截面上的不同部位，其下降速度相应有快有慢。通常，靠近水套两侧的熔炼速度快，该处料柱的下降速度也快，而炉子中心区熔炼速度较慢，此处料柱的下降速度也慢。这样，在熔炼过程中，当整个料柱下降的时候，将发生一个炉料从中心往两侧填充的、炉料重新分布的过程。在这个过程中，由于不同物理规格的材料具有不同的自然坡角，因而引起了不同炉料离开加料斗下端向两侧移动时，有快慢不一的差异，重而大的比较而细的移动得快，滚得远，于是形成物料的偏析现象。

在混捏铜精矿密闭鼓风机炉熔炼中，经过混捏的、具有较大粘性的铜精矿，离开加料斗后基本上集中在炉子的中央；比重大的炉料（如转炉渣、熔剂）则向两侧偏析，可到达于水套壁附近；比重轻的焦炭则介于它们之间。于是，形成了炉子两侧以块料和焦炭为多并夹有少量精矿，而炉子中间则以混捏精矿为多并夹有块料和焦炭，形成炉料分布不均匀状态，如图 4。

应该指出，中心料柱并无一个明显的界线，仅有一个过渡的区间，而且沿炉子的长轴方向，中心料柱的宽度也不是固定的。它与料斗宽度、铜精矿的混捏质量、加料的均匀程度和炉况有关。

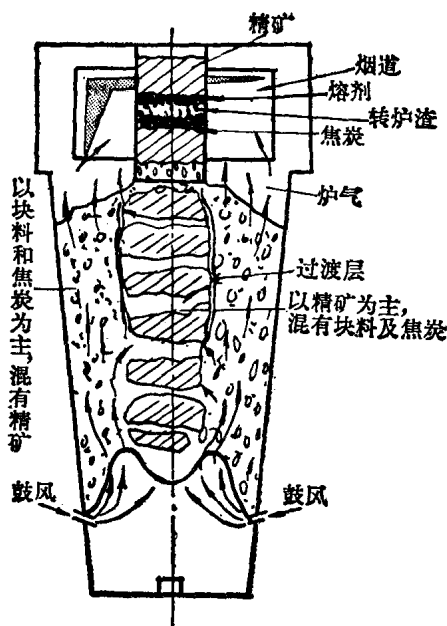


图 4 密闭鼓风炉的炉料分布状态示意图

二、烟气在炉内的分布状态

对鼓风炉生产来说，鼓风量是一个重要的因素。为了强化熔炼过程，力求在单位时间内鼓入较多的风量。

鼓入炉内的空气在风口附近受热，然后参与焦炭燃烧和冶金过程，并产生大量高温烟气。这些高温烟气在通过料层上升的过程中，在料层和熔融体之间发生传质和传热的作用，完成各种物理化学反应。

在鼓风炉内，通过料层的烟气流动的状态，主要决定于料柱的块度组成、炉型、进风条件（鼓风压力、风口结构和角度）、炉况以及排烟条件等等。当空气经风口进入炉内，由于在靠炉壁和中心料柱之间有较大的气体通道，烟气比较容易从那里流过，形成了所谓周边行程。这种烟气分布不均的周边行程对敞开式鼓风炉熔炼是不希望的，因此，在敞开式鼓风炉生产中，力图通过

改变加料方式（如使块料较多地集中到炉子中心，细料较多地分布于炉子两侧）及选择合理的炉型等措施来削弱周边行程的发展，促使烟气沿炉子的整个截面均匀分布，以提高各项冶炼指标。然而，在混捏铜精矿密闭鼓风炉熔炼中，却恰恰相反，正好充分利用此周边行程，以解决鼓风炉不能处理粉料的矛盾。

密闭炉炉料分布不均造成炉内各处对烟气的阻力不一。炉子两侧块料多，对烟气的阻力较小，而炉子中心以混捏精矿为多，并加上料斗的密封料柱的压力，故对烟气的阻力较大。这样，便导致烟气比较集中地从炉子两侧通过，而流经炉子中心较为困难。

这样的炉料与烟气的分布状态，正是有效地利用料柱的压力和高温的作用，使混捏铜精矿发生固结和烧结过程，为鼓风炉不能处理粉状物料和在鼓风炉内直接处理铜精矿这对矛盾发生转化，创造了十分有利的条件。但是，应该看到，由于物料的偏析和烟气分布不均，破坏了各种炉料间、烟气与铜精矿间的良好接触，妨碍多相冶金过程的迅速进行，给造渣和硫化物的氧化带来不利。因而成为此种熔炼床能率和冰铜品位较低的根本原因。

三、炉内温度的分布状态

鼓风炉的温度分布基本上决定于气流的分布。由于密闭鼓风炉的炉料与烟气分布不均，也必然造成炉内温度分布具有本身的特点，即两侧的温度比炉中心高。尤其在炉子上部，这种温差更大。越靠近风口水平面，这种温差将逐渐减小。上述炉内温度分布引起焦点区的形状也相应地发生改变。实践表明，如果敞开式鼓风炉的焦点区是集中在炉子中心的话，如图5左，那么密闭炉的焦点区便稍微分散于两侧如图5右，因而把焦点区也稍微拉长了，使其最高温度不如熔炼烧结块的炉子高。

从国外对炉内温度的测定结果（如图6）也可以看到以上的现象。对4267毫米高的炉子而言，在距风口水平面1200毫米以上的区域，炉子两侧的温度总比炉中心高，但随着距离的缩小，此温差降低，最后趋于一致。

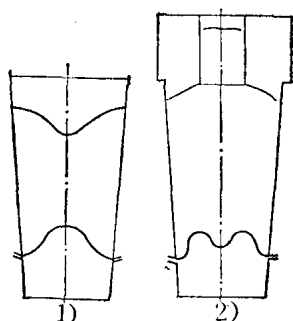


图 5 焦点区形状示意图

- 1) 敞开式烧结块鼓风炉；
- 2) 混捏精矿密闭鼓风炉

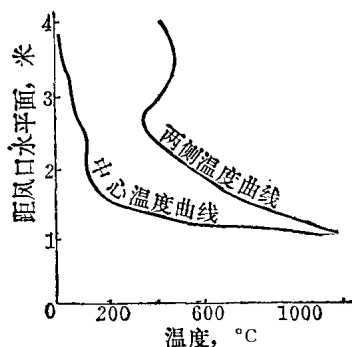


图 6 炉内温度分布图

由图 5 可见，中心料柱距风口水平面较近，因而当送风不良和炉况稍有恶化时，便容易引起中心料柱下延到风口区，形成所谓活动料柱。此时，如从风口打钎，还会出现钎头带出精矿粉的现象。

某厂曾在相隔 6 个小时，分别对 2.8m^2 密闭鼓风炉进行过普遍打钎试验，现将其试验结果示于图 7。

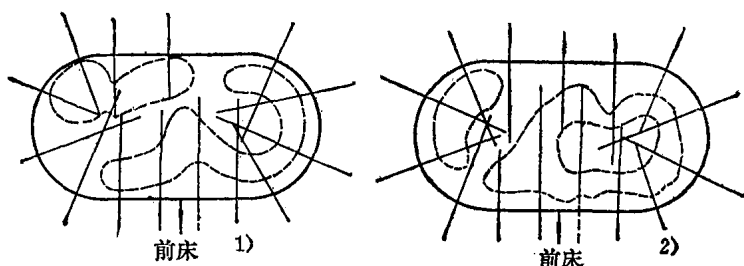


图 7 宽 1275 毫米，长 2435 毫米，密闭鼓风炉风口水平温度分布图（虚线为钎子烧红部分连线（推测））

- 1) 为 1967.6.20.8:15~9:15 实测图，
- 2) 为 6 个小时后的实测图