

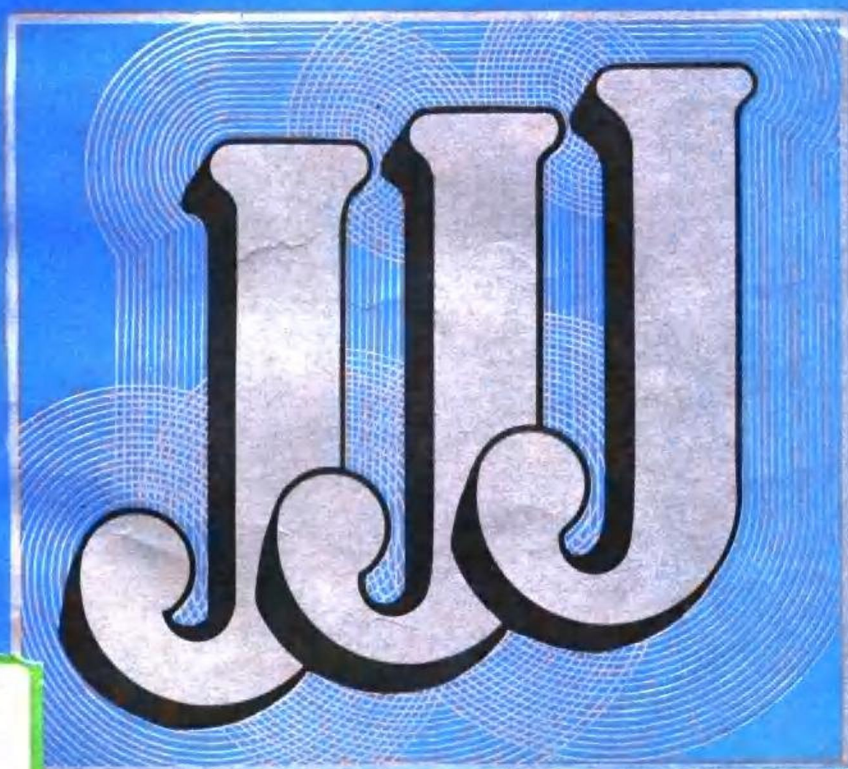
国家机械工业委员会统编

有色金属熔炼工工艺学

(中级工适用)

机械工人技术理论培训教材

JIXIE GONGREN JISHULILUN PEIXUN JIAOCAI



机械工业出版社

TF803.11

4

3:3

机械工人技术理论培训教材

有色金属熔炼工工艺学

(中级工适用)

国家机械工业委员会统编

1216/8



机械工业出版社

B

522080

本书对有色金属熔炼的熔炉、熔剂、常用中间合金、熔炼原理及工艺、铸造缺陷、工艺编制的基本原理进行了讲述。可供企业对已学完初级工教材的，从事有色金属合金生产的中级工进行中级技术理论培训时使用。由于各工厂的具体条件不同，可根据实际情况和需要进行教学。

本书由四川省德阳市第二重型机器厂王云祥编写，由四川省乐山市东风电机厂廖继高、四川省德阳市东方电机厂林昌煜、曹士珍审稿。

有色金属熔炼工艺学

(中级工适用)

国家机械工业委员会统编

责任编辑：李铭杰 责任校对：申春香
封面设计：林胜利 方芬 版式设计：胡金璞
责任印制：卢子祥

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南里一号）
（北京市书刊出版业营业许可证出字第117号）
北京市密云县印刷厂印刷
机械工业出版社发行·新华书店经销

开本 787×1092¹/₃₂ · 印张 9 · 字数 197 千字
1988年12月北京第一版·1988年12月北京第一次印刷
印数 00,001—16,900 定价：3.25 元

ISBN 7-111-01138-4/TF·10

前 言

1981年,原第一机械工业部为贯彻、落实《中共中央、国务院关于加强职工教育工作的决定》,确定对机械工业系统的技术工人按照初、中、高三个阶段进行技术培训。为此,组织制定了30个通用技术工种的《工人初、中级技术理论教学计划,教学大纲(试行)》,编写了相应的教材,有力地推动了“六五”期间机械行业的工人培训工作,初步改变了十年动乱造成的工人队伍文化技术水平低下的状况,取得了比较显著的成绩。

鉴于原机械工业部1985年对《工人技术等级标准(通用部分)》进行了全面修订,原教学计划,教学大纲已不适应新《标准》的要求,而且缺少高级部分;编写的教材,由于时间仓促、经验不足,在内容上存在着偏深、偏多、偏难等脱离实际的问题。为此,原机械工业部根据新《标准》,重新制定了33个通用技术工种的《机械工人技术理论培训计划、培训大纲》(初、中、高级),于1987年8月由国家机械工业委员会颁发,并根据培训计划、大纲的要求,编写了配套教材149种。

这套新教材的编写,体现了《国家教育委员会关于改革和发展成人教育的决定》中对“技术工人要按岗位要求开展技术等级培训”的有关精神,坚持了文化课为技术基础课服务,技术基础课为专业课服务,专业课为提高操作技能和分析解决生产实际问题的能力服务的原则。在内容上,力求以基本概念和原理为主,突出针对性和实用性,着重讲授基本

知识，注重能力培养，并从当前机械行业工人队伍素质的实际情况出发，努力做到理论联系实际，通俗易懂，具有工人培训教材的特色，同时注意了初、中、高三级之间合理的衔接，便于在职工技术工人学习运用。

这套教材是国家机械工业委员会委托上海、江苏、四川、沈阳等地机械工业管理部门和上海材料研究所、湘潭电机厂、长春第一汽车制造厂、济南第二机床厂等单位，组织了200多个企业、院校和科研单位的近千名从事职工教育的同志，工程技术人员、教师、科技工作者及富有生产经验的老工人，在调查研究和认真汲取“六五”期间工人教材建设工作经验教训的基础上编写的。在新教材行将出版之际，谨向为此付出艰辛劳动的全体编、审人员，各地的组织领导者，以及积极支持教材编审出版并予以通力合作的各有关单位和机械工业出版社致以深切的谢意！

编好、出好这套教材不容易；教好、学好这些课程更需要广大职教工作者和技术工人的奋发努力。新教材仍难免存在某些缺点和错误，我们恳切地希望同志们在教和学的过程中发现问题，及时提出批评和指正，以便再版时修订，使其更完善，更好地发挥为振兴机械工业服务的作用。

国家机械工业委员会
技工培训教材编审组

1987年11月

目 录

前 言

第一章	熔炉及耐火材料	1
第一节	火焰反射炉	1
第二节	电弧炉	15
第三节	感应电炉	19
第四节	耐火材料	45
复习题		56
第二章	熔剂及配制	58
第一节	概述	58
第二节	熔剂的作用	64
复习题		83
第三章	常用中间合金	85
第一节	概述	85
第二节	中间合金的熔制	87
复习题		115
第四章	铸造有色合金熔炼原理及工艺	117
第一节	铸造铜合金概述	117
第二节	铜合金的熔炼	130
第三节	铜合金的精炼	180
第四节	铝合金概述	198
第五节	铝合金的熔炼	208
第六节	铝合金的精炼	227
复习题		244
第五章	有色金属合金铸造缺陷分析	248
第一节	砂眼、渣孔	248

第二节	气孔、针孔、缩孔	251
第三节	疏松	257
第四节	裂纹	259
第五节	偏析	261
第六节	合金熔炼的炉前鉴定	264
复习题		270
第六章	工艺编制基本知识	272
第一节	编制工艺的目的与要求	272
第二节	编制工艺的原则	275
第三节	编制工艺的方法	277
第四节	工艺的可靠性	278
复习题		279

第一章 熔炉及耐火材料

在有色金属合金的熔炼中，使用各种各样的熔炉，由于有色合金的特点，对熔炉有一定的要求，在初级工教材中对此已作了部分介绍，现在继续讲述其他类型的熔炉。

第一节 火焰反射炉

反射炉是在有色金属合金的熔炼中使用较广的一种熔炉，它的容量较大，用于生产较大型的铸件。根据所使用能源的不同可分为电阻反射炉和燃料反射炉。

电阻反射炉主要用于熔炼铝合金，它是借助于安装在熔池上部的电热元件的辐射热加热炉料的，这种熔炉耗电量很大（每熔1 t铝耗电600kW以上），结构复杂，生产效率低，为防止电热元件被腐蚀，不能在炉内进行精炼处理。电阻反射炉现已逐渐被感应电炉所取代，这里不再作介绍。

通常所说的火焰反射炉系指燃料反射炉，它使用的燃料有柴油、重油、人工煤气或天然气等。此外，也有使用固体燃料的，在本节中我们不作专门叙述。

一、火焰反射炉的结构

按熔池的形状，火焰反射炉可分成圆形和矩形两种。圆形熔池的容量较小，但结构简单，一般是工厂按需要自己设计和建造的。

1. 圆形熔池的结构 圆形熔池火焰反射炉的结构示于图1-1。由图可见，整个熔炉的结构较简单，现将各部分的作

用分述如下。

(1) 排烟(尘)罩：位于炉子的最上部，其作用是将合金熔炼过程中产生的烟尘和有毒气体排出车间。

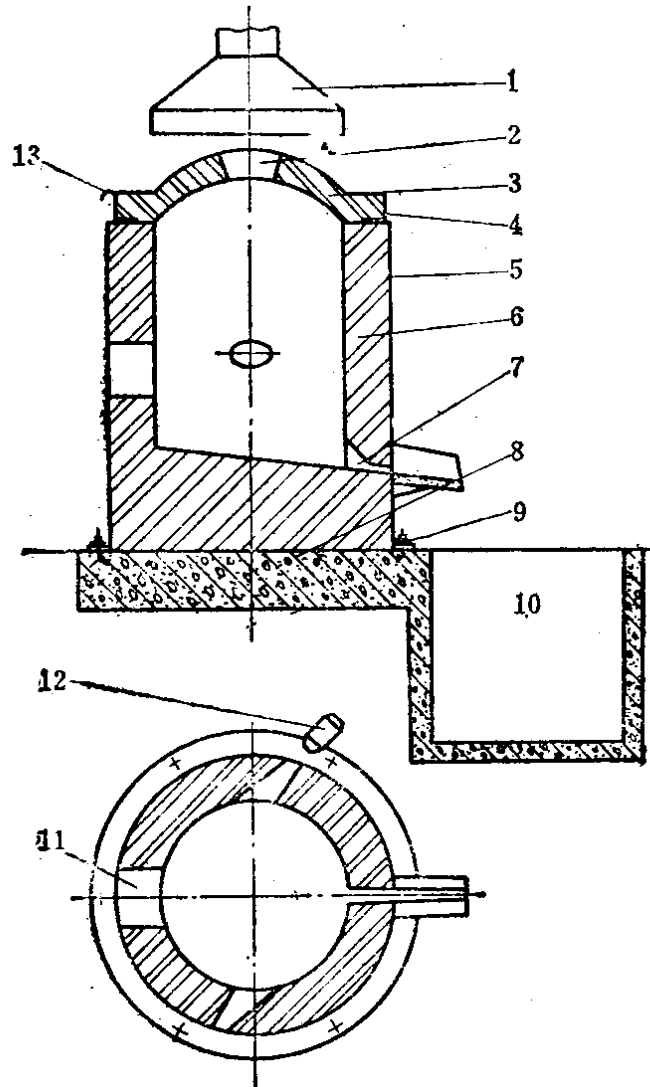


图1-1 圆形熔池火焰反射炉的结构

- 1—排烟(尘)罩 2—炉气出口 3—炉盖 4—托架
5—外壳 6—炉衬 7—放出口 8—基础 9—螺钉
10—炉前坑 11—工作门 12—烧嘴 13—吊钩

(2) 炉气出口：位于炉盖圆拱中心，用来排除炉膛内的废气（燃料燃烧产物、精炼产物等），在关闭炉子的工作门后，可利用它来保持炉内外压力的平衡。

(3) 炉盖：呈圆拱形，用普通粘土砖砌筑，可以吊起，以便清炉和装入块度较大的炉料。

(4) 托架：钢制圆环形，其作用是承担炉盖砌砖的全部重量，应具有一定的强度。

(5) 外壳：由钢板卷制，形成圆柱形炉体，在使用时也要承受压力，应具备一定的强度。

(6) 炉衬：用普通粘土砖砌筑，它的耐火度能满足熔炼时炉膛温度的要求。

(7) 放出口：是倾斜炉底的最低点，用来放出炉内的全部合金液。

(8) 混凝土基础：整个炉体坐落在其上，它要承受熔炉自身的重量和合金液的重量，需具备一定的抗压能力。

(9) 炉前坑：主要是出炉时放浇包用，其作用不是用来盛炉渣的，所以应经常清理，保持干净。

(10) 工作门：作用很多，如加料、搅拌、观察、取样、测温等操作都在这里进行，是很重要的部位。为了操作方便，离地面高度不能超过800mm。

(11) 烧嘴：是向炉内送入液体或气体燃料和空气的部位，燃料通过烧嘴混合后，进入炉内燃烧，对炉料进行加热。烧嘴的分类、结构、原理将在后面作专门介绍。

(12) 吊钩：用于吊起炉盖，要求具有一定强度，焊接处安全可靠。

2. 矩形熔池的结构 5t熔铜矩形熔池火焰反射炉的结构示于图1-2,下面对各部分的作用分别说明。

(1) 炉盖：其作用是对火焰和热量起反射作用，这是它作成拱形的原因。活动炉盖可以吊走，以便操作者进入炉膛中进行修理或清理上一次熔炼时的残留金属和炉渣。还可以

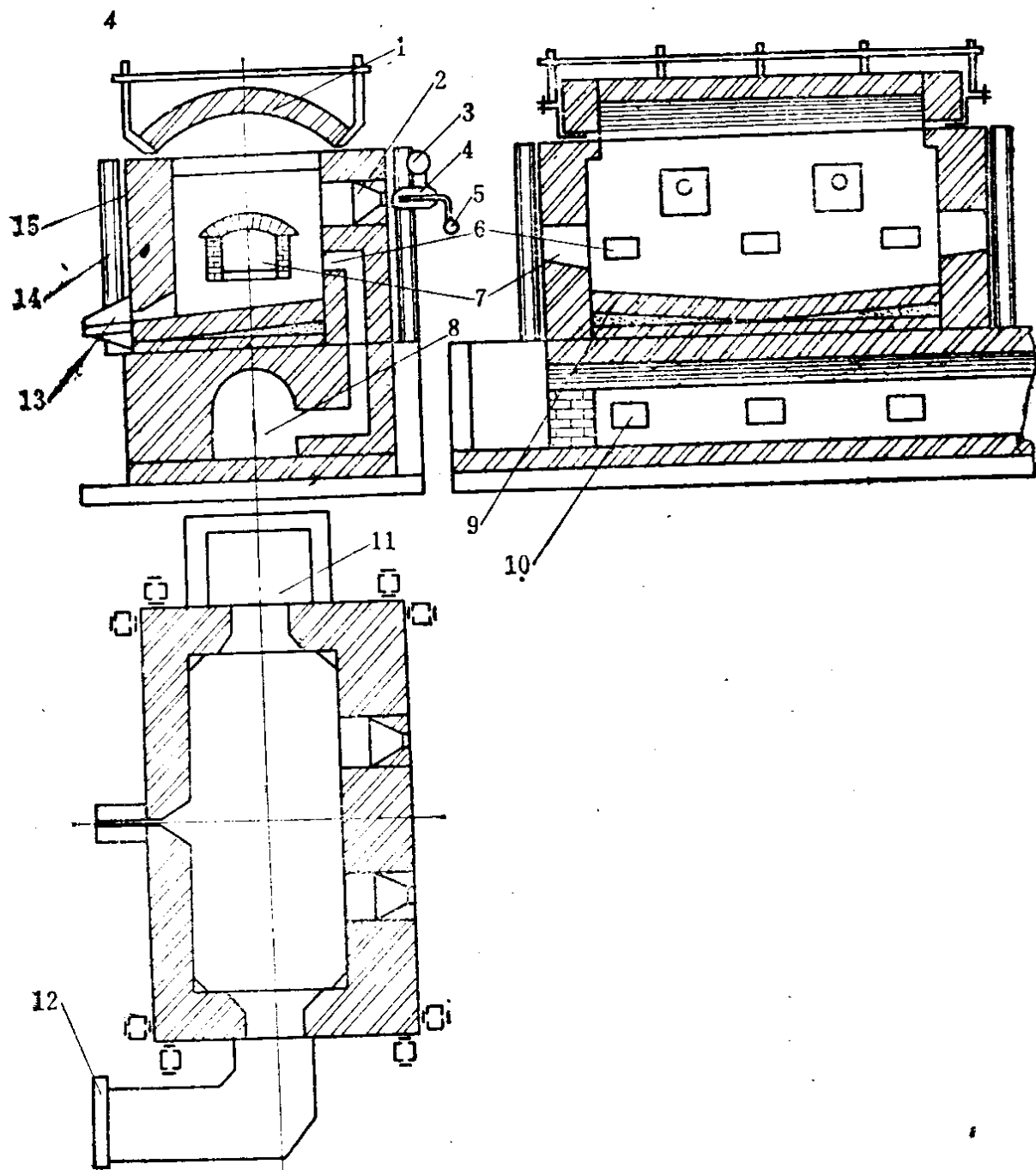


图1-2 矩形熔池火焰反射炉的结构

- 1—炉盖 2—燃烧坑道 3—风管 4—烧（喷）嘴
 5—油（气）输送管 6、10—炉气出口 7—工作门
 8—炉底烟道 9—炉底 11—人孔 12—水冷闸门
 13—放出口 14—立柱 15—外壳

装入熔炼工作门不能装入的较大块炉料，但同时会造成炉盖、炉墙的损坏，影响熔炉的使用寿命。

(2) 燃烧坑道 (又称燃烧室): 气体或液体燃料经过烧 (喷) 嘴喷出在这里开始燃烧, 并进入炉膛。使用固体燃料时, 燃烧坑道的结构要复杂一些。

(3) 风管: 其作用是将鼓风机送来的空气进行分配后送入烧 (喷) 嘴中, 以满足燃料燃烧时的需要。

(4) 烧 (喷) 嘴: 空气和气 (液) 体燃料由这里混合后进入燃烧坑道燃烧。

(5) 油 (气) 输送管: 它直接与烧 (喷) 嘴相连接, 向炉内输送燃料。

(6) 炉气出口: 炉气出口包括图1-2中的6、10, 进入炉膛的燃料混合物燃烧后, 热量传给炉盖, 炉墙, 并加热炉料, 之后的废气经出口6排出炉膛, 再经出口10进入烟道排出。

(7) 工作门: 全部熔炼过程的操作都在这里进行。如加入覆盖剂, 合料时加入中间合金和金属炉料, 进行搅拌、扒渣、取样、测温, 熔炼过程温度的控制、观察等, 所以这是一个很重要的地方。

(8) 炉底烟道: 是炉膛内排出的废气进烟囱的通道。

(9) 炉底: 用普通耐火砖砌成倒拱形, 可避免炉底的上浮, 并向放出口方向倾斜, 以保证合金液能全部放出。

(10) 人孔: 可通过此孔进入炉底烟道进行清理和检查炉底的情况。

(11) 水冷闸门: 手动调整, 用以控制炉内气氛和压力, 使熔炼过程在最佳条件下进行, 保持最快的熔化速度。

(12) 合金液放出口: 向炉外的斜度为 1 : 50, 保证合金液能尽可能地被完全放出。放出口的直径一般为 40 ~ 50mm, 可视具体情况而定。

(13) 立柱：由型钢组成，共 8 根，固定于混凝土基础上，保证熔炉在熔炼过程中有一定的强度，以正常工作。

(14) 4mm 厚的钢板外壳：形成熔炉的外部形状，以便砌筑炉墙。

3. 常用烧嘴和喷嘴 烧嘴和喷嘴的类型很多，各有特点，所以在使用时应视具体条件进行选择。

(1) 烧嘴：气体燃料的燃烧装置叫烧嘴。工业上使用的气体燃料有天然煤气、焦炉煤气、混合煤气（焦炉煤气与高炉煤气的混合物）和发生炉煤气等。

1) 烧嘴分类：由于煤气与空气在燃烧前的混合程度不同，又分成有焰燃烧和无焰燃烧两种，两者的燃烧特点不同，烧嘴结构不同，应用范围也不同。

①有焰燃烧：煤气与空气是从烧嘴进入炉内后才边混合边燃烧的，火焰较长，轮廓清晰可见，黑度高，沿火焰长度方向温度分布比较均匀。有焰燃烧烧嘴不需要很高的压力，（一般 490~2490Pa），所以常称有焰烧嘴为低压烧嘴。在坩埚炉和反射炉上都可以使用，对炉膛容积和熔池面积大，要求炉温比较均匀的反射炉来说更为合适。

②无焰燃烧：煤气与空气均匀混合后进入炉内，燃烧速度快，火焰短，黑度小，几乎看不到火焰，所以叫无焰燃烧。无焰烧嘴要求有较大的煤气压力（一般都在 9800 Pa 以上），通常称为高压烧嘴。由于坩埚炉容积和炉膛小，热负荷低，热强度大，高温区集中，很适合用这种烧嘴，通常一个烧嘴即可满足要求。对于反射炉则可用几个烧嘴合理布置以满足对炉温的要求。

2) 烧嘴结构：烧嘴必须包括“混合装置”和“喷头”两个重要部件，其作用是把煤气和空气或者它们的混合

物送到炉内，在规定的负荷下保证燃料的完全燃烧和火焰的稳定。图1-3是低压套管式烧嘴的结构，煤气和空气平行地流动在两个同心的套管内，离开烧嘴后才开始混合，混合和燃烧速度慢，火焰较长，需要有大的燃烧空间。这种烧嘴的优点是结构简单，气流阻力小，所需煤气和空气压力在各类烧嘴中最低，一般为784~1470Pa即可，可以燃烧各种煤气，它已有定型结构系列。图1-4是低压涡流式烧嘴，其结构特点主要是在空气通道中有造成涡流的导向叶片，能使空气旋转前进，并在烧嘴内与煤气相遇，改进了混合条件。与

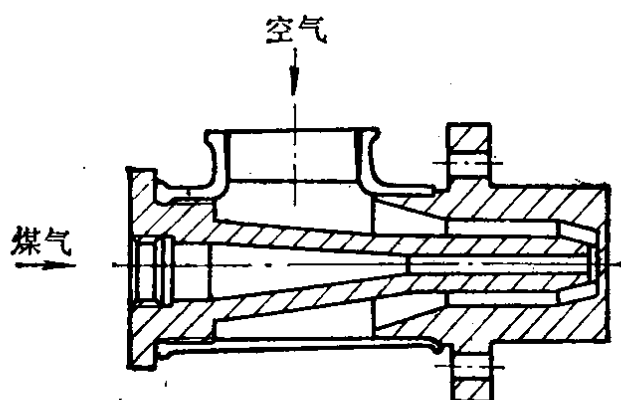


图1-3 套管式烧嘴

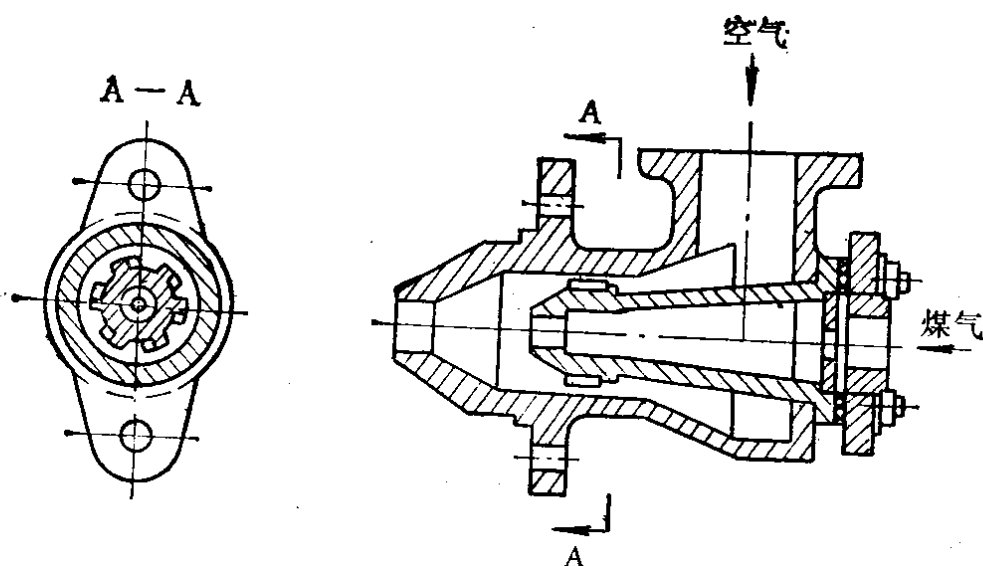


图1-4 低压涡流式烧嘴

套管式烧嘴相比，低压涡流式烧嘴火焰较短，涡流片增加了空气阻力，所以需要较高的空气压力（1960Pa以上）。低压涡流式烧嘴尚有扁缝涡流式、环缝涡流式及多孔涡流式等数种结构型式。

无焰烧嘴中使用最广泛的是直头冷风喷射式无焰烧嘴，图1-5是这种烧嘴的结构。它以煤气作介质，烧嘴前的煤气压力高达0.147MPa，它是根据烧嘴能力的调节范围和煤气发热量的大小而定的。

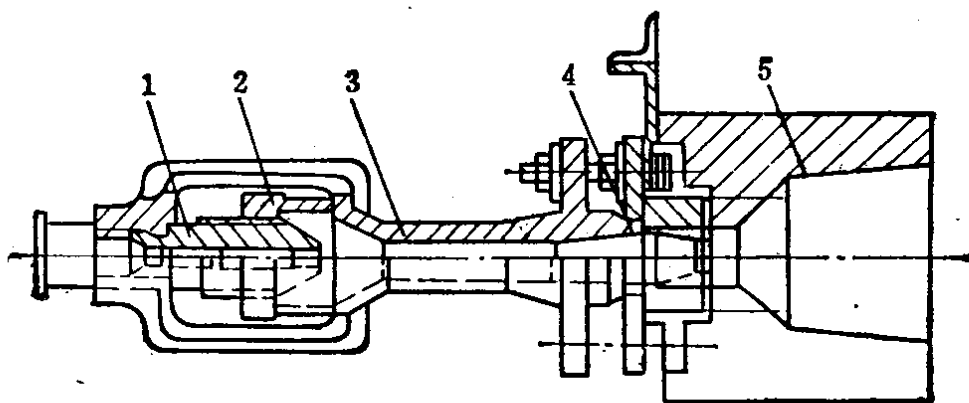


图1-5 直头冷风喷射式烧嘴

1—煤气喷口 2—空气调节阀 3—混合管
4—扩压管 5—燃烧室

（2）喷嘴：液体燃料的燃烧装置叫喷嘴。在炉子上使用的液体燃料主要是重油和柴油。要保证液体燃料的完全燃烧，必须使其与空气良好混合，先要把液体燃料雾化，再进行燃烧。雾化后的油粒尺寸愈小，燃烧愈完全。油的雾化是用外力（物理的或机械的）不断地作用于油的流股使其破碎成分散的雾状油粒。以气体（空气、蒸气）作雾化剂是靠气体流股所具有的动能（与气流的速度和流量成正比）对油液流股的冲击力和摩擦力作用进行雾化，在保证雾化剂必需的

动能条件下，用燃烧所需要的低压（一般4900~7840Pa）空气雾化的喷嘴叫低压喷嘴；用少量的压缩空气（压力0.294~0.49MPa，用量0.5~0.8kg/kg油）或高压蒸气（压力0.294~1.176MPa，用量0.4~0.6kg/kg油）雾化的喷嘴叫高压喷嘴。此外还有用油压雾化和离心雾化的喷嘴，称之为油压喷嘴和转环喷嘴。图1-6是燃烧柴油的直流式低压喷嘴，由鼓风机供给全部燃烧所需要的空气作雾化剂，风压为1960Pa左右。油是靠置于2m以上高的储油桶的位压头由输油管送入喷嘴的。这种喷嘴结构简单，加工制作很方便，风压低，对风机要求不高，投资少，对100~150kg的坩埚炉很适用；缺点是空气出口断面不能调节，影响雾化质量。图1-7是一种外混直流式高压喷嘴的结构，它可燃烧柴油，也可燃烧重油，使用49Pa左右的压缩空气做雾化剂，压缩空气用量占燃烧空气量的10%左右，其余空气借喷嘴出口的高速气流由大气中吸入，油压一般在19.6Pa以下。这种喷嘴的最大优点是结构简单；缺点是雾化剂流股和油流股的交角小，基本上是平行直

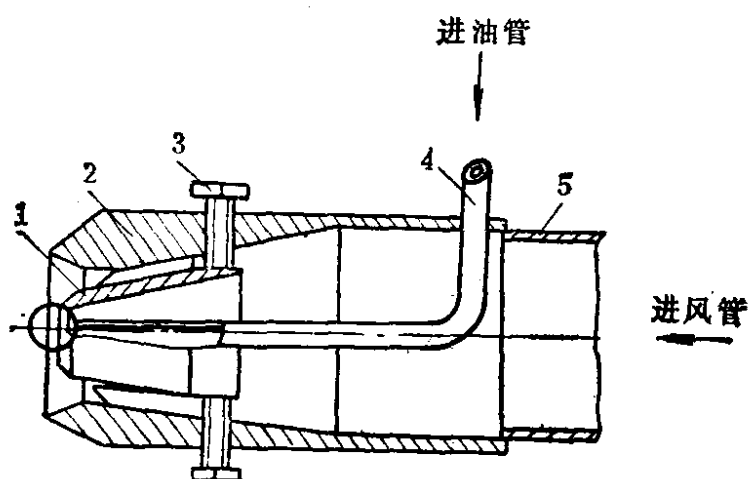


图1-6 直流式低压喷嘴

- 1—喷油嘴 2—喷嘴体 3—止动螺钉 4—油管
5—风管

进运动，雾化和混合条件都较差，火焰长。

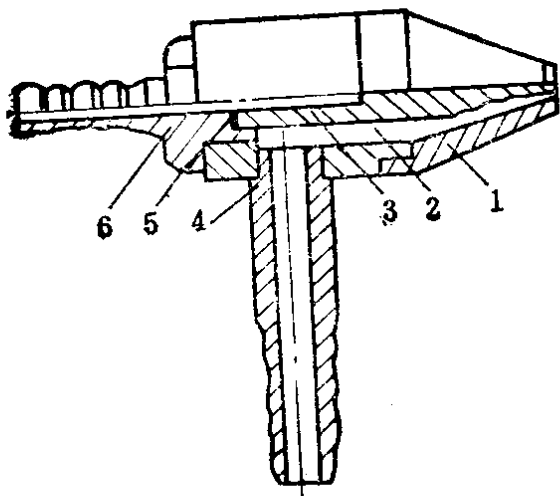


图1-7 外混直流式高压喷嘴

- 1—喷嘴体前部 2—喷嘴体后部
3—喷嘴芯 4—风管接头
5—耐火橡胶垫圈 6—油管

二、反射炉的工作原理及

用途

反射炉无论其熔池结构是圆形还是矩形，工作原理基本相同。

1. 加热方式 无论是固体燃料还是液体、气体燃料，都是相同的。

(1) 固体燃料的燃烧在专门的燃烧室中进行，燃烧时产生的高温火焰进入炉膛，燃烧后剩余的炉渣，通过炉栅进入炉坑被清除。

(2) 液体燃料的燃烧首先是通过喷嘴将其雾化后进入燃烧室，边混合，边燃烧，产生高温炉气进入炉膛中对炉料进行加热。

(3) 气体燃料的燃烧也是首先通过烧嘴，使其和空气混合均匀后，进入燃烧室中燃烧，产生的高温炉气进入炉膛中。

不管是使用哪一种燃料，首先必须使其与空气混合，燃烧产生的高温炉气进入炉膛中才能对金属炉料进行加热。所以，燃料的燃烧是进行加热熔炼的重要条件。那么炉料是怎样被加热的呢？图1-8是圆形熔池反射炉加热过程的示意图，喷嘴将风管送来的风与油管送来的油混合后送入炉膛中燃烧，产生的高温炉气（或火焰）对炉料、炉壁进行加热。由于喷嘴是切线方向送入混合燃料的，所以燃烧的气体在炉内