

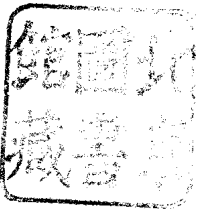
TF748.41

3

冶金技工学校教学用书

电弧炉炼钢工艺与设备

上钢五厂技校 沈才芳 主编



冶金工业出版社

A 762207

前 言

本书是根据1979年冶金部技工学校教材会议制订的“电弧炉炼钢工艺与设备”教学大纲编写的。与《炼钢原理》、《铸锭》等书一起作为技工学校电弧炉炼钢专业课教材，也可供在职工人自学参考。

全书共分十四章，介绍了电弧炉的设备、炉衬、原材料及基本冶炼工艺和基本操作技能；并介绍了合金钢冶炼、事故的分析及处理、安全生产知识等内容；此外对喷粉技术和炉外精炼等有关知识也作了简要介绍。

本书主要作为技工学校炼钢专业电炉炼钢班学生的教材，也可作为电弧炉炼钢工技术培训用书及自学读本。

本书由上钢五厂技校沈才芳主编，上钢五厂技校孙社成、上海钢研所王宏、长城钢厂徐妙良参加编写。在编写过程中得到很多兄弟单位的大力支持，并经上海工业大学冶金系副主任徐匡迪同志和上海钢研所顾德骥总工程师审阅，特此表示衷心感谢。

目 录

第一章 电弧炉炼钢概述	1
第一节 电弧炉炼钢发展概况	1
第二节 电弧炉炼钢的特点	2
第三节 碱性电弧炉与酸性电弧炉	3
第四节 碱性电弧炉炼钢过程介绍	3
复习题	6
第二章 电弧炉的机械设备	7
第一节 电弧炉的构造	7
第二节 炉体的金属构件	9
第三节 电极夹持器及电极升降装置	15
第四节 炉体倾动机构	19
第五节 炉顶装料系统	22
第六节 电弧炉的辅助装置	31
复习题	37
第三章 电弧炉的电气设备	39
第一节 概述	39
第二节 隔离开关和高压断路器	42
第三节 电炉变压器和电抗器	45
第四节 短网	49
第五节 测量、保护及信号装置	52
第六节 电极升降自动调节装置	54
第七节 配电操作	58
复习题	61
第四章 耐火材料和炉衬	62
第一节 耐火材料的主要性能和分类	62
第二节 电弧炉用耐火材料	64
第三节 电弧炉用绝热材料和粘结剂	69
第四节 炉型尺寸	71

第五节	炉衬的砌筑	74
第六节	炉衬的维护	80
	复习题	83
第五章	原材料	84
第一节	废钢	84
第二节	生铁(废铁)、软铁	86
第三节	合金材料	87
第四节	造渣材料和氧化剂	91
第五节	脱氧剂和增碳剂	94
第六节	电极	96
	复习题	97
第六章	冶炼前的准备工作	99
第一节	配料与装料	99
第二节	烘炉和补炉	106
	复习题	111
第七章	熔化期	112
第一节	炉料的熔化及物化反应	112
第二节	缩短熔化期的途径	116
第三节	熔化期造渣及去磷	121
	复习题	124
第八章	氧化期	125
第一节	氧化方法	125
第二节	氧化去磷	126
第三节	碳的氧化	132
第四节	氧化期的造渣	145
第五节	合理控制脱磷与脱碳	146
第六节	氧化期操作要点	149
	复习题	152
第九章	还原期	154
第一节	脱氧	154
第二节	脱硫	165
第三节	还原期的炉渣	169

第四节	还原期温度控制	174
第五节	钢液的合金化	179
第六节	还原期的操作工艺	189
复习题	.....	195
第十章	基本操作、安全生产知识及事故的处理和预防	197
第一节	炉前操作的基本技能	197
第二节	安全生产知识	209
第三节	事故的处理和预防	211
复习题	.....	219
第十一章	能量平衡及技术经济指标	220
第一节	电弧炉炼钢的能量平衡	220
第二节	电弧炉炼钢技术经济指标	227
复习题	.....	231
第十二章	钢中气体、夹杂物	232
第一节	钢中气体	232
第二节	钢中非金属夹杂物	239
复习题	.....	246
第十三章	合金钢冶炼	247
第一节	合金结构钢的冶炼	247
第二节	滚动轴承钢的冶炼	258
第三节	高速工具钢的冶炼	266
第四节	不锈钢的冶炼	277
复习题	.....	288
第十四章	电弧炉炼钢的动向	289
第一节	超高功率电弧炉	289
第二节	喷粉技术在电弧炉炼钢中的应用	291
第三节	炉外精炼	296
第四节	电子计算机在电弧炉炼钢过程中的应用	315
复习题	.....	316

第一章 电弧炉炼钢概述

近代炼钢方法主要有转炉炼钢法、平炉炼钢法和电炉炼钢法。其中电弧炉炼钢是以电能作为热源的炼钢方法之一，电弧炉也是应用得最为普遍的炼钢电炉。

电弧炉炼钢是靠电极和炉料间放电产生的电弧，使电能弧光中转变为热能，并借助辐射和电弧的直接作用加热并熔化金属和炉渣，冶炼出各种成分的钢和合金的一种炼钢方法。

我们通常所说的电炉炼钢，主要是指电弧炉炼钢，因为其它类型的电炉，如感应电炉、电渣炉等所炼的钢数量较少。

第一节 电弧炉炼钢发展概况

第一座工业用电弧炉是1900年在法国建成的，这是一台双电极电弧炉，电极是方形的，电极升降靠人工手动调节，电弧炉的炉盖是固定的，炉料由人工从炉门装入。到1926年德国制成了炉盖移动式电弧炉，其容量为六吨，这是世界上第一批炉顶装料电弧炉。

1940年以前，所有的电弧炉都被用来冶炼飞机及坦克用的合金钢以及不锈钢、工具钢。所以当时电弧炉不论数量还是容量都是有限的，大于25吨容量的电弧炉全世界只有五台。

第二次世界大战后合金钢需要量一时减少，这就迫使许多电弧炉不得不改炼碳素钢。电弧炉冶炼碳素钢质量极好，而且操作方便、占地面积小、投资少、工作场地整洁。特别是廉价的水力发电，更增强了电弧炉冶炼碳素钢的竞争力，在电力便宜的国家，广泛使用电弧炉冶炼优质碳素结构钢，使电炉钢的产量迅速增长。世界电炉钢的产量从1960年的3100万吨增至1970年的7400万吨，到1977年已达到1亿吨左右。

由于普通钢的需要量很大，而且要求价格便宜，这就促使电

弧炉的容量增大，在技术方面进行改革和发展。七十年代先后出现了容量为300吨、360吨和400吨的大型电弧炉。随着炉容量的不断增大，人工搅拌炉料已非常困难，于是在1953年，美国在电弧炉上安装了第一台电磁感应搅拌器。从而加快了钢液升温速度，改善了钢液成分的均匀性，并且使炉内的温度更加均匀，提高了钢的质量和产量。为了进一步提高钢的生产率及改善电弧炉炼钢的经济性，某些国家相继采用了超高功率送电这项新技术。如今在世界上已初步出现了具有高度机械化、自动化和连续作业式的电弧炉设备，配有电子计算机程序控制的电弧炉正在迅速发展。可以预言，电弧炉炼钢在整个钢铁制造业中将起着越来越大的作用。

第二节 电弧炉炼钢的特点

电弧炉炼钢与其它炼钢方法相比较，有以下的特点：靠电弧加热，故其温度可以高达2000°C以上，超过了用一般燃料加热的其它炼钢炉所能达到的温度，熔化期的热量大部分是在被加热的炉料包围中产生的，而且避免了大量高温废气带走热量造成的热损失，所以热效率比平炉、转炉炼钢法要高，用电能加热能精确地控制温度。由于炉内没有可燃烧气体，故可以根据工艺要求在各种不同的气氛中进行加热，也可在任何压力下或真空中进行加热。

由于电弧炉炼钢具有上述特点，故能冶炼出含磷、硫、氧低的优质钢；能使用各种元素（包括铝、钛等容易被氧化的元素）进行钢的合金化，冶炼出各种类型的优质钢和合金，例如滚动轴承钢、不锈钢、耐酸钢、高速工具钢、电工用钢、耐热钢和合金以及磁性材料等等。

电弧炉炼钢与平炉、转炉炼钢相比，另一个优点是基建投资少，占地面积小。和转炉相比，它可以用废钢作为原料，不象转炉那样需要热铁水，所以不需要一套庞大的炼铁和炼焦系统。此外，从长远观点看，电能的成本稳定，供应方便；电弧炉设备简单，操作方便，还比较易于控制污染。

由此可见，电弧炉炼钢的优越性是相当大的，所以现在世界各国在大力发展纯氧顶吹转炉的同时，都在稳步地发展电弧炉炼钢技术。

第三节 碱性电弧炉与酸性电弧炉

炼钢电弧炉根据炉衬的性质不同，可以分为碱性炉和酸性炉。碱性电弧炉是用碱性耐火材料，如镁砂、白云石等作炉衬，而酸性电弧炉是用硅砖、石英砂、白泥等酸性材料修砌炉衬的。

由于炉衬的性质不同，在炼钢过程中所采用的造渣材料也不一样。碱性炉要用以石灰为主的碱性材料造碱性渣，而酸性炉则是用以石英砂为主的酸性材料造酸性渣。

碱性电弧炉由于使用碱性炉渣，能有效地去除钢中的有害元素磷、硫。而酸性渣无去除磷、硫的能力，所以酸性炉炼钢要求用含磷、硫很低的原材料，因此一般以钢锭为产品的电炉钢厂都是使用碱性电弧炉。但酸性炉渣阻止气体透过的能力大于碱性渣，它使钢液升温快，因而异型铸造车间多使用酸性电弧炉。两种电弧炉的比较列于表1-1中。

表 1-1 碱性电弧炉与酸性电弧炉的比较

比较项目		碱性电弧炉		酸性电弧炉	
炉衬材料	炉底	碱性耐火材料	镁砂沥青或镁砂焦油打结	酸性耐火材料	石英砂白泥打结加硅砖
	炉墙		沥青镁砂砖及沥青白云石砖		石英砂白泥掺加水玻璃打结
	炉盖		高铝砖		硅砖
	出钢槽		高温水泥或沥青镁砖		粘土砖
造渣材料		石灰、萤石		石英砂、石灰	
脱磷、硫效果		很好		无	
适用范围		电炉车间冶炼优质合金钢		铸钢车间	

第四节 碱性电弧炉炼钢过程介绍

电弧炉炼钢一般是用废钢铁作为固体炉料，所以电弧炉炼钢

过程首先是利用电能使其熔化及升温，然后在炉内进行精炼。去除钢中的有害元素、杂质及气体，调整化学成分到成品规格范围，以及使钢液在出钢时达到适合浇注所需要的温度。

碱性电弧炉炼钢的工艺方法，一般可分为氧化法、不氧化法（又称装入法）及返回吹氧法。

氧化法治炼操作由扒补炉、装料、熔化期、氧化期、还原期及出钢六个阶段组成。其特点是有氧化期，用加矿石或吹氧进行脱磷脱碳，使熔池沸腾，以降低钢中的气体和杂质，再经过脱氧还原和调整钢液的化学成分及温度，然后出钢。用这种方法冶炼，可以得到含磷量及气体、夹杂物含量都很低的钢，还可以利用廉价的废钢为原料，因此一般钢种大多采用氧化法治炼。其缺点是如果炉料中有合金返回料，则其中的某些合金元素会被氧化而损失于炉渣中。

不氧化法在冶炼过程中没有氧化期，能充分回收原料中的合金元素。所以可在炉料中配入大量的合金钢切头、切尾、废锭、注余钢、切屑和汤道钢等，减少铁合金的消耗，降低钢的成本。炉料熔清后，经过还原调整钢液成分和温度后即可出钢。冶炼时间较短，低合金钢、不锈钢、高速工具钢等均可以用此法治炼。其缺点是不能去磷、去夹杂物和除气，因此对炉料要求高，须配入清洁无锈、含磷低的钢铁料，并在冶炼过程中要求采取一切措施防止吸气。同时钢液的化学成分基本上取决于配料的成分，这就要求炉料配料的化学成分和称量力求准确。为此这种冶炼方法用得比较少。

返回吹氧法是在炉料中配入大量的合金钢返回料。依据碳和氧的亲合力在一定的温度条件下比某些合金元素和氧的亲合力大的理论，当钢液升到一定的温度以后，向钢液进行吹氧，强化冶炼过程，达到在脱碳、去气、去夹杂物的同时，又回收大量合金元素的目的。这样既降低成本又提高质量。返回吹氧法常用于不锈钢、高速工具钢等高合金钢的冶炼。因为这些高合金钢若用氧化法治炼，由于合金元素的烧损，在还原期要加入大量铁合金，

特别是要加入低碳的铁合金，这样不仅使成本提高，而且使还原期操作极为困难。返回吹氧法冶炼将在冶炼高速工具钢及不锈钢中专门介绍。

现将生产中主要采用的氧化法冶炼的工艺流程概括介绍如下。

一、补炉

出钢完毕后，需要对炉体损坏的部位迅速进行修补，以保证下一炉钢的正常冶炼，新炉子在冶炼前几炉一般不需要补炉。

二、装料

将固体炉料（按冶炼钢种要求配入的废钢铁料及少量石灰）装入炉膛内。目前多数电炉采用顶装料，即将炉盖上升、炉体开出。或者炉盖升起旋开，用吊车吊起料罐将炉料一次加入炉膛内。小于3吨的电炉一般是用手工从炉门装料。

三、熔化期

从通电开始到炉料全部熔清的阶段称为熔化期。其主要任务是迅速熔化全部炉料，并且要求去除部分的磷。为了加速炉料的熔化和节约用电，在熔化期一般采用吹氧助熔。此外，如发现电极损坏或长度不够，应在熔化期接好电极，同时堵好出钢口，调换渣包，整理好冶炼操作时所需用的一切工具及做好各项准备工作。

四、氧化期

炉料全部熔清后，取样分析，进入氧化期。这阶段的任务为：最大限度地降低钢液中的磷含量；去除钢中气体（氮、氢）及夹杂物；将钢液温度加热到稍高于出钢温度。

为完成上述任务，必须向炉内加入石灰、矿石，进行吹氧、流渣等项操作。当氧化期结束时，要将炉渣扒掉。

五、还原期

停电扒除氧化渣后，用石灰、萤石造新渣，开始进入还原期。

还原期的主要任务为：去除钢中的硫含量；脱氧；调整钢液

化学成分及温度。

还原期操作时要分批向炉渣面均匀加入炭粉、硅铁粉，设法使炉渣颜色变白并保持白渣。并向熔池中加入锰铁、硅铁以及冶炼钢种所需要的铁合金。为了最终脱氧，还要向钢液内插铝块。

六、出钢

将炼好的钢液从出钢口处倾入盛钢桶，以便进行浇注。出钢时要求炉渣覆盖在钢流面上，随钢流一齐倾入盛钢桶。

采用氧化法冶炼一炉钢的操作顺序为：上炉出钢→补炉→装料→熔化期→氧化期→还原期→出钢→浇注成钢锭。

电炉炼钢操作时，除了控制钢的化学成分外，要特别重视冶炼温度和炉渣的调整。温度的高低主要是通过变压器输入功率大小来控制，电功率大小可以通过调节供电电压、电流的大小来进行调整。

炉渣成分可随意调整。例如，多加些石灰就能增强炉渣的碱性及粘度，加些萤石能增加炉渣的流动性，甚至可以将原有渣子扒除掉（或扒除部分）重新造渣。总之可根据冶炼需要对炉渣进行控制。

复 习 题

1. 电弧炉炼钢的特点是什么？
2. 碱性电弧炉与酸性电弧炉相比有何特点？
3. 碱性电弧炉氧化法冶炼、不氧化法冶炼及返回吹氧法冶炼各有什么优缺点？
4. 氧化法冶炼过程由哪几个阶段组成？各个阶段的主要任务是什么？

第二章 电弧炉的机械设备

第一节 电弧炉的构造

电弧炉的构造主要是由炼钢工艺决定的，同时又与电炉的容量大小、装料方式、传动方式等有关。电弧炉的基本结构如图2-1所示。

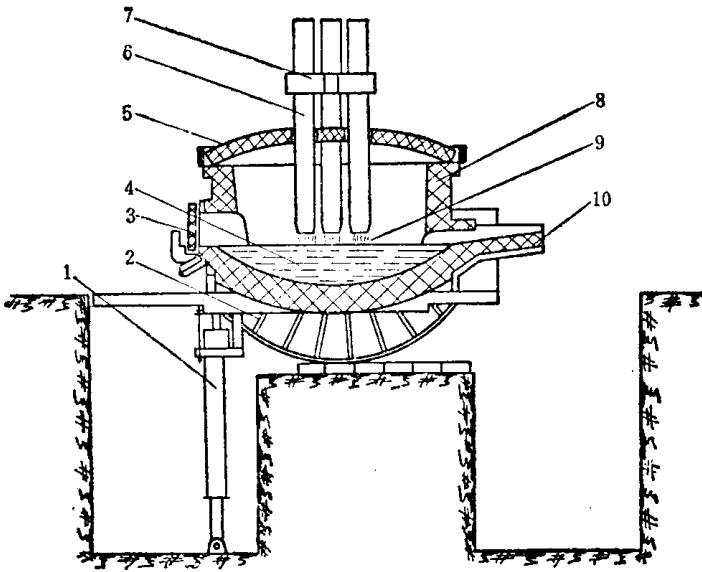


图 2-1 炼钢电弧炉示意图

- 1—倾炉用液压缸；2—倾炉摇架；3—炉门；4—熔池；5—炉盖；
6—电极；7—电极夹持器（连接电极升降装置）；8—炉体
9—电弧；10—出钢槽

电弧炉的主要机械设备由炉体、电极夹持器及电极升降装置、炉体倾动装置、炉盖提升和旋转装置等几部分组成。

炉体是电炉的最主要的装置。它用来熔化炉料和进行各种冶金反应。电弧炉炉体由金属构件和耐火材料砌筑成的炉衬两部分

组成。炉体的金属构件包括炉壳、炉门、出钢槽、炉盖圈和电极密封圈。炉壳是用钢板焊成的，其上部有加固圈。大炉子炉壳上部往往做成双层的，中间通水冷却。炉门供观察炉内情况及扒渣、取样、加料等操作使用。炉门口平时用炉门盖掩盖。炉门盖一般通水冷却。小型电炉的炉门盖用人工启闭，稍大的炉子用压缩空气或液压机构等启闭。出钢槽供出钢用，它连在炉壳上，外部用钢板焊成，内部砌耐火材料。电弧炉的炉盖用耐火材料砌成圆拱形四周是一个用钢板或型钢焊成的圆环形构件，称炉盖圈，里面大多通水冷却。炉盖上有三个呈正三角形对称布置的电极孔，在电极孔与电极之间设有电极密封圈。电极密封圈用钢板做成圆环形，里面通水冷却。

电弧炉在炼钢过程中，由于要不断地熔化炉料，同时在熔炼各期要求供给不同的电能，因此电极需要随时升降来保证或调整电弧的长度。电极通过电极夹持器装在电极升降装置上。电极夹持器可以夹紧和放松电极。在熔炼过程中，电极的升降受电极自动调节装置的控制。电极升降装置由横臂，立柱和传动机构组成。结构有活动立柱式和固定立柱式两种，较大型的电炉一般都采用活动立柱式结构。传动方式又有钢丝绳传动、齿轮和齿条传动、液压传动三种，大型电弧炉多采用液压传动。

电弧炉在出钢时需要向出钢槽侧倾动，使钢液从出钢槽流出；在熔炼过程中，为了便于扒渣操作，需要把炉体向炉门侧倾动，因此电炉应具有炉体倾动装置。

电弧炉的装料方式有炉门装料和炉顶装料两种。炉门手工装料只适用于很小的电炉。绝大多数电炉都采用炉顶装料。按装料时炉体和炉盖位置变动情况的不同，可分为炉体开出式、炉盖旋转式或炉盖开出式三种类型。我国各电炉钢厂目前大多是炉体开出式。

为了加快炉料的熔化，某些50吨以上的电弧炉还配备炉体回转机构，使炉体能在水平方向向左或向右各旋转一定的角度，这样可使电极在炉膛的几个位置上熔化炉料，从而使料的受热更加

均匀，减少人工推料作业和缩短炉料的熔化时间。另外也可以避免炉底局部过热。

第二节 炉体的金属构件

一、炉壳

炉壳的结构如图2-2所示，炉壳包括圆筒形炉身、炉壳底和上部加固圈三部分。这些一般都是用钢板焊接而成的。

炉壳应具有足够的强度和刚度。炉壳在工作过程中，除了承受炉衬和炉料的重量外，同时还受到炉衬被加热所产生的热应力，并且还要抵抗顶装料时的强大冲击力。在正常情况下，炉壳外表面的温度为 $100\sim 150^{\circ}\text{C}$ ，当炉墙的耐火材料比较薄的时候，炉壳的温度还会提高，产生局部过热。目前许多钢厂为了提高炉子作业率，都采用备用炉壳，在热状态下调换炉壳，这也要求炉壳有足够的强度和刚度。

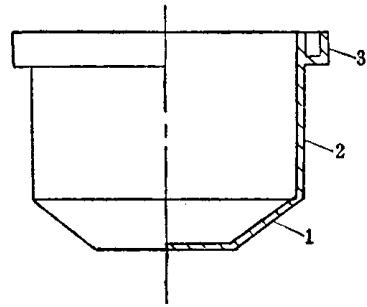


图 2-2 炉壳
1—炉壳底；2—炉身；3—加固圈

炉壳钢板的厚度与炉壳直径大小有关，根据经验大约为炉壳直径的 $\frac{1}{200}$ 。通常炉壳钢板的厚度为 $12\sim 30$ 毫米。

炉身做成圆筒形，可以减小散热面积及热损失。炉门和出钢口四周的切口部分需用钢板加固。20吨以上的大炉子在炉壳外面焊有水平和垂直的加固筋。

炉壳底有球形的、截头圆锥形的、平底的三种（图2-3）。球形底坚固，砌筑时用耐火材料最少，但制造比较困难，多用于小容量电炉。目前一般采用焊制的截头圆锥形炉壳底。与球形炉壳底比较，坚固性略差，所需的耐火材料稍多，但制造较容易。平底制造简单，但因有死角，砌筑时耐火材料消耗较大，故很少采用。

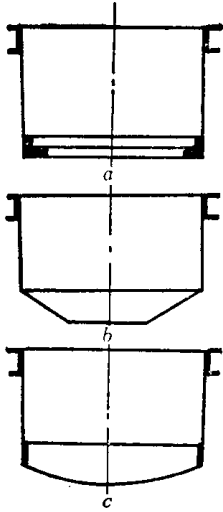


图 2-3 炉壳底的三种型式
 a—平底；b—截头圆锥形底；
 c—球形底

炉壳上沿的加固圈用钢板或型钢焊成。在大中型电炉上都采用中间通水冷却的加固圈，以增加炉壳的刚度，防止炉壳由于受热而变形，保证炉壳与炉盖接触严密。近年来炉壳加固圈部分高度不断增大，渣线以上部分均通水冷却，使炉壳变成一个夹层的水冷炉壳(图2-4)。水冷炉壳提高了炉墙的使用寿命，但热损失较大。在加固圈的上部留有一个砂封槽，使炉盖圈插入槽内，并填入镁砂使之密封。

二、炉门

炉门包括炉门盖、炉门框、炉门坎和炉门升降机构几部分。对炉门的要求是：结构严密；升降简便灵活；牢固耐用；各部分便于拆装。

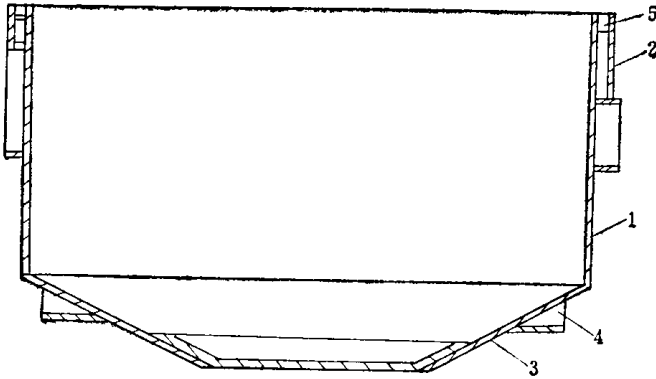


图 2-4 水冷炉壳的结构
 1—炉身；2—水箱；3—炉壳底；4—撑板；5—砂封槽

炉门盖用钢板焊成，大多数制成空心水冷式，这样可以改善炉前的工作环境。炉门框是用钢板焊成的一个“Π”形水冷箱（图2-5）。炉门框的上部嵌入炉墙内，用以支承炉门上部的炉墙。炉门框的前壁做成倾斜的，和垂直线成 $3\sim 12^\circ$ 的夹角。以保证炉门盖和炉门框之间能压紧，保持密封良好，减少热量损失和保持炉内的气氛。同时在炉门盖升降时还可起到导向作用，防止炉门盖摆动。炉门坎固定在炉壳上，作为出渣用。有些厂把炉门坎做成斜底，增加炉衬的厚度，以防止在炉门坎下面发生漏钢事故。

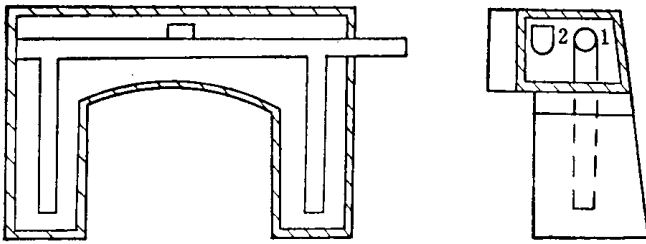


图 2-5 炉门框
1—进水管；2—出水管

炉门升降机构有手动、气动、电动和液压传动等几种方式。手动炉门升降机构通常用于小炉子，其构造为炉门盖吊在专门的杠杆系统上，升降机构上装有平衡锤（图2-6）。

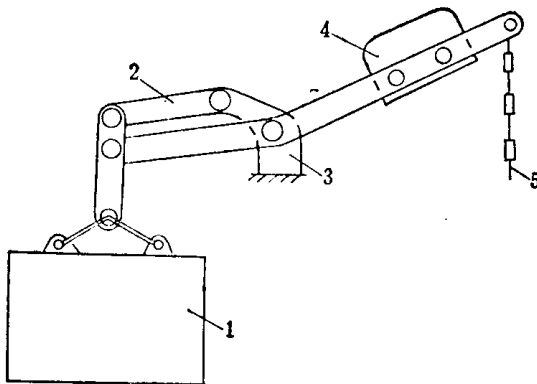


图 2-6 手动炉门升降机构
1—炉门盖；2—杠杆系统；3—支座；4—平衡锤；5—拉手

气动的炉门升降机构其炉门悬挂在链轮上，压缩空气通入气缸带动链轮转动而打开炉门。在要关闭时将压缩空气放出，炉门依靠自重下降（图2-7）。

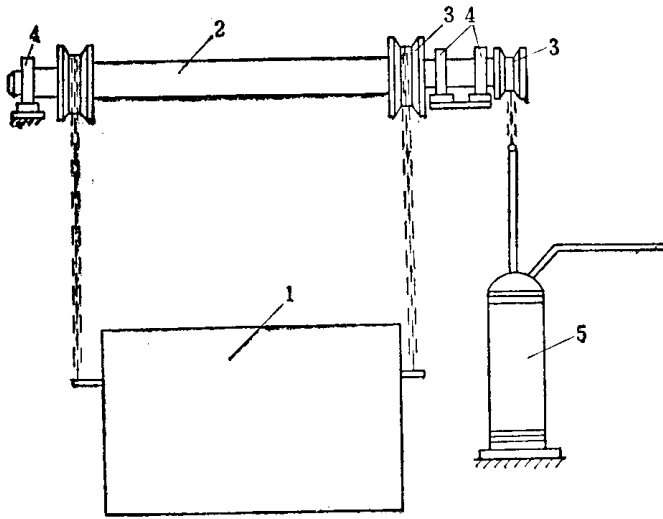


图 2-7 气动炉门升降机构
1—炉门盖；2—轴；3—链轮；4—轴承座；5—气缸

电动和液压传动的炉门升降机构比气动的构造复杂，但是能保证炉门盖在任一中间位置停止，而限于全打开和全关闭的两个极限位置。

中小型电炉一般只有一个炉门。而大型电炉为了加速炉子的修补，便于推料、扒渣、吹氧等操作，在炉子侧面还增设一个辅助炉门，两个炉门的位置互成 90° 。

三、出钢槽

出钢槽由钢板和角钢焊成，固定在炉壳上。槽内砌以大块耐火砖，目前很多厂采用预制整块的流钢槽砖，砌筑方便，使用寿命长。

出钢槽的长度取决于炉子的尺寸、炉子在车间的位置及倾动机构的类型。在保证顺利出钢的前提下，出钢槽应尽量短些，以减少钢液的二次氧化和吸收气体。