

高等学校教学用书

炼钢实验

北京钢铁学院编著

編 者 的 話

本书是由我院几年来負責領導实验的同志和部份教师，結合几年来教育改革經驗并参考苏联的資料編写而成的。

本书是針對学生实验用的教材形式編写的，其中包括前言和六个实验。每个实验都分別叙述实验仪器、分析原理，操作步骤和思考題等。

本书內容，除感应炉实验适用于鋼鉄冶金、鑄工、冶金炉及其它有关专业外，其它內容是針對炼鋼和电冶专业編写的。

限于我們的能力，书中內容不妥之处恐難避免，希望讀者提出意見，以便再版时更正。

参加本书編写工作的有王自华、吳元增、吳貴洲、章汉亮、于軼凡、馬慧玲、蔡开科、李西林，并由蔡开科、李西林負責統一校对。在本书編写过程中，关玉龙和陈家祥等同志也提供了修訂意見。

前 言

鋼鐵冶金专业冶炼課的實驗是一門新課程。我們沒有經驗，經過教学改革和几年来在教学中的摸索，我們覺得要开好實驗課，培养出理論联系实际的具有一定水平的学生，在这本教材里有必要对以下几个問題加以說明。

一、专业冶炼課的實驗性质：专业實驗的开法目前有两种类型：手法性實驗和科研性實驗。手法性實驗和一般基礎課的實驗相似，具有基本手法訓練的性质。按照規定的實驗內容要求，每人輪作一次。科研性實驗，是分組按教师所拟的專題进行實驗研究工作。通过自己科研試样的分析，掌握每次實驗內容。在實驗时不仅要求結果准确，而且能对設備及分析方法有較深的了解。但学生時間有限，不能把每种實驗按这种要求全部輪做一次，而只能做一种，最多两种与專題密切的實驗項目。因此两种實驗方法各有利弊。为了避免以上两种方式的缺点，我們建議采用两种試驗并开的办法，即所有同学先經過一次手法訓練，而后分別对个别專項进行深入的工作。目前对如何开好科研性實驗經驗不多，本书仅將手法試驗內容編入教材，供開課时使用。

二、手法實驗課的目的和要求：手法實驗課是培养学生掌握炼鋼生产中所必需的分析方法的基本技术，为科研性實驗和以后进行科研工作打下基础。因此凡是炼鋼及电冶專門化的学生都应当將每項實驗輪做一次。对鋼鐵冶金专业学生來說，目前我們只选入六个實驗，这是根据教学要求，生产

后在加新料之先，要将刚打結那层的表面弄松，保証层与层的結構較緊密。

在使用图1b坩埚模时，打結先应在模芯上包上厚1.5~2.0毫米的紙层，这样做是为使脫模方便；另外，在打結时壁套易于跳出，故得注意。其他操作同于前述。

脫模 基本上有两种不同的脫模方法：一种是打結完即行脫模（图1-a）；另一种是打完后，坩埚及坩埚模同时加热到較高的温度，然后在此温度下进行脫模（图1-b）。

两种脫模方法的操作大致是一样的；前种方法脫模时，先将坩埚模翻倒过来（即坩埚底在下面），用螺杆穿过模芯底盘边缘頂在模壁套上，然后旋扭螺杆逐漸将模芯从坩埚內拉出。最后将模壁外套拆开移走，把坩埚放在阴涼干燥的地方，让其自然干燥。

这种脫模方法在操作过程中，绝对禁止敲打坩埚模，因坩埚的机械强度很低，极易破裂。

后一种脫模方法的操作，其模芯的拉出，不是依螺杆頂而是借預先包在模芯上的厚紙层在加热时烧掉而产生縫隙后将其取出，这种脫模方法在必要时可輕輕敲打，但也不能过于剧烈。

单就脫模而言，前一种方法是較简单的，但后一种方法脫出的坩埚由于被烘烤过，故其机械强度較大。附坩埚模图如下。

2. 坩埚的安装

仔細而正确地安装坩埚对于提高电效率和鋼的质量起着重要的作用，因此应特別重視这一工作，避免由于安装馬虎而給冶炼造成的各种麻煩（如打火、或鉄料不易熔化等）。

填充材料 填充材料是坩埚底部的和感应器涂料与坩埚

教学质量，应当保证实验所必须的时间。下列方案可作为安排实验时数的参考。六项实验共32学时；自习和做报告共12学时。时间分配如下：

实验名称	实验主要内容	时 间 按 排			
		预习	具体操作	讨论	写报告
感应炉介绍	冶炼特点，坩埚打结	1	3	1	0.5
金相法鉴定夹杂	磨样，在明场、暗场、偏光下定性、定量、评级。	1.5	5	1	1
电解法测定夹杂总量	炭素钢电解、溶解炭化物、称量总量、显微镜观测。	1.5	9	1	1
钢中氢的测定	制样、求容积值、简易定氢操作、固体吸收定氢仪示范教学。	1.5	5	1	1
钢中氧的测定	真空熔化法定氧示范分析。	1	2.5	0.5	0.5
钢中氮的测定	溶解试样、蒸馏、滴定、做空白。	1	2.5	0.5	0.5
	总 计	7.5	27	5	4.5

目 录

前言.....	3
实验一、感应炉实验.....	6
实验二、钢中非金属夹杂物的金相法鉴定.....	16
实验三、钢中非金属夹杂物总量的电解法测定.....	47
实验四、钢中氢含量的测定——真空加热法.....	55
实验五、钢中氧含量的测定——真空熔化法.....	67
实验六、钢中氮含量的测定——化学法.....	73

編 者 的 話

本书是由我院几年来負責領導实验的同志和部份教师，結合几年来教育改革經驗并参考苏联的資料編写而成的。

本书是針對学生实验用的教材形式編写的，其中包括前言和六个实验。每个实验都分別叙述实验仪器、分析原理，操作步骤和思考題等。

本书內容，除感应炉实验适用于鋼鉄冶金、鑄工、冶金炉及其它有关专业外，其它內容是針對炼鋼和电冶专业編写的。

限于我們的能力，书中內容不妥之处恐難避免，希望讀者提出意見，以便再版时更正。

参加本书編写工作的有王自华、吳元增、吳貴洲、章汉亮、于軼凡、馬慧玲、蔡开科、李西林，并由蔡开科、李西林負責統一校对。在本书編写过程中，关玉龙和陈家祥等同志也提供了修訂意見。

目 录

前言.....	3
实验一、感应炉实验.....	6
实验二、钢中非金属夹杂物的金相法鉴定.....	16
实验三、钢中非金属夹杂物总量的电解法测定.....	47
实验四、钢中氢含量的测定——真空加热法.....	55
实验五、钢中氧含量的测定——真空熔化法.....	67
实验六、钢中氮含量的测定——化学法.....	73

前 言

鋼鐵冶金专业冶炼課的實驗是一門新課程。我們沒有經驗，經過教学改革和几年来在教学中的摸索，我們覺得要开好實驗課，培养出理論聯系实际的具有一定水平的学生，在这本教材里有必要对以下几个問題加以說明。

一、专业冶炼課的實驗性质：专业實驗的开法目前有两种类型：手法性實驗和科研性實驗。手法性實驗和一般基礎課的實驗相似，具有基本手法訓練的性质。按照規定的實驗內容要求，每人輪作一次。科研性實驗，是分組按教师所拟的專題进行實驗研究工作。通过自己科研試样的分析，掌握每次實驗內容。在實驗时不仅要求結果准确，而且能对設備及分析方法有較深的了解。但学生時間有限，不能把每种實驗按这种要求全部輪做一次，而只能做一种，最多两种与專題密切的實驗項目。因此两种實驗方法各有利弊。为了避免以上两种方式的缺点，我們建議采用两种試驗并开的办法，即所有同学先經過一次手法訓練，而后分別对个别專項进行深入的工作。目前对如何开好科研性實驗經驗不多，本书仅將手法試驗內容編入教材，供開課时使用。

二、手法實驗課的目的和要求：手法實驗課是培养学生掌握炼鋼生产中所必需的分析方法的基本技术，为科研性實驗和以后进行科研工作打下基础。因此凡是炼鋼及电冶專門化的学生都应当將每項實驗輪做一次。对鋼鐵冶金专业学生來說，目前我們只选入六个實驗，这是根据教学要求，生产

后在加新料之先，要将刚打結那层的表面弄松，保証层与层的結構較緊密。

在使用图1b坩埚模时，打結先应在模芯上包上厚1.5~2.0毫米的紙层，这样做是为使脫模方便；另外，在打結时壁套易于跳出，故得注意。其他操作同于前述。

脫模 基本上有两种不同的脫模方法：一种是打結完即行脫模（图1-a）；另一种是打完后，坩埚及坩埚模同时加热到較高的温度，然后在此温度下进行脫模（图1-b）。

两种脫模方法的操作大致是一样的；前种方法脫模时，先将坩埚模翻倒过来（即坩埚底在下面），用螺杆穿过模芯底盘边缘頂在模壁套上，然后旋扭螺杆逐漸将模芯从坩埚內拉出。最后将模壁外套拆开移走，把坩埚放在阴涼干燥的地方，让其自然干燥。

这种脫模方法在操作过程中，绝对禁止敲打坩埚模，因坩埚的机械强度很低，极易破裂。

后一种脫模方法的操作，其模芯的拉出，不是依螺杆頂而是借預先包在模芯上的厚紙层在加热时烧掉而产生縫隙后将其取出，这种脫模方法在必要时可輕輕敲打，但也不能过于剧烈。

单就脫模而言，前一种方法是較简单的，但后一种方法脫出的坩埚由于被烘烤过，故其机械强度較大。附坩埚模图如下。

2. 坩埚的安装

仔細而正确地安装坩埚对于提高电效率和鋼的质量起着重要的作用，因此应特別重視这一工作，避免由于安装馬虎而給冶炼造成的各种麻煩（如打火、或鉄料不易熔化等）。

填充材料 填充材料是坩埚底部的和感应器涂料与坩埚

教学质量，应当保证实验所必须的时间。下列方案可作为安排实验时数的参考。六项实验共32学时；自习和做报告共12学时。时间分配如下：

实验名称	实验主要内容	时 间 按 排			
		预习	具体操作	讨论	写报告
感应炉介绍	冶炼特点，坩埚打结	1	3	1	0.5
金相法鉴定夹杂	磨样，在明场、暗场、偏光下定性、定量、评级。	1.5	5	1	1
电解法测定夹杂总量	炭素铜电解、溶解炭化物、称量总量、显微镜观测。	1.5	9	1	1
钢中氢的测定	制样、求容积值、简易定氢操作、固体吸收定氢仪示范教学。	1.5	5	1	1
钢中氧的测定	真空熔化法定氧示范分析。	1	2.5	0.5	0.5
钢中氮的测定	溶解试样、蒸馏、滴定、做空白。	1	2.5	0.5	0.5
	总 计	7.5	27	5	4.5

实验一 感应炉实验

一、实验目的和要求

随着电子科学的进步，高频电热已迅速地应用到广大的工业部门。无芯感应电炉熔炼，是这一新型的加热技术在冶金工业中的应用。它的被采用，不仅为保证特殊物理性能和严格规定成份的合金的冶炼，开辟了广泛生产的可能，同时也使进一步发展到真空和中性气体介质内熔炼金属的最完善的工艺规程得以实现的可能。

这项教学，除巩固和加深有关基本理论知识外，还应通过它掌握感应电炉熔炼过程中的一些实际技能。

二、感应电炉熔炼

1. 冶炼前的准备与设备检查

开炉之前，必须将电器设备内部清整干净。同时设备在运转过程中各接点有自行松脱现象，故应检查线路的接点，特别是高压线路的接点是否有松脱现象。然后检查水冷系统的水压和是否有漏水现象，并在水压规定为 $1.6 \sim 2.0$ 公斤/厘米² 的范围内，通水观察之。水压太高或太低，均不得送电，以免运转中发生事故。

在检查电器的同时，应检查坩埚。新的坩埚，注意炉颌与坩埚上缘接触是否密合；如有缝应进行修补（原料可用 $0.5 \sim 1.0$ 毫米的细镁砂和水玻璃均匀混合）。用过的坩埚，应检查被浸蚀的情况，酌情修补。此外，坩埚可能由于打结

不好、溫度急变等原因产生裂縫。在一般情况下，用鎂砂修補的坩堝，能重新燒結，可以繼續使用。如坩堝裂縫太寬太深，需要更換。

新安裝的坩堝在使用之前要進行燒結，使其內表面燒結一層高耐火度的衬里，提高使用壽命。正式冶煉前，先裝生鐵，通电熔化。在熔化的同时，坩堝內表面即行燒結。有的用石墨电极放在坩堝內通电加热，依靠热輻射进行燒結。有的用低炭鋼或工业純鉄进行熔化而燒結。发热体的选择，可依具体鋼种冶煉要求来决定。如煉高級合金鋼，要求炭及杂质較低，这样就不能选用生鉄或电极，而应选用低炭鋼或工业純鉄。

坩堝燒結時間的長短、溫度和电压的高低，因炉子大小不一而有所差異。溫度应由低到高，緩慢地进行，防止突变。燒結良好、冶煉正常的碱性坩堝，寿命可达10—30炉。酸性坩堝可达100炉左右。

2. 裝料及熔化

坩堝在检查修補并經清理后即可裝料。

料块大小一般以其断面（圓的或方的）不大于10~15毫米，长不大于20~30毫米为宜。块太大，会拖延冶煉時間，并易架桥（架桥是坩堝底部料已熔化，而上部的料結在一起，不能沉入已熔化的鋼液中，造成底部鋼液过热，严重者导至坩堝底部漏鋼）。

料裝的部位及程序，应根据坩堝內部溫度区域的分布情况及料的性质、块度大小而定。高溫区域是坩堝底部和靠近坩堝壁的地方，将难熔的块度較大的料装在此处；低溫区域是坩堝上部和中心，較小的料装在此处；最小的料用来填充料与料之間的空隙。

料装的要紧密，超过坩埚三分之二时可装的松些。装料时不应超过感应器上面的第一圈，多余的料可随后分批加入。

料装好后，即可通电进行加热。

新换上的坩埚，第一炉的加热任务主要是烧結坩埚，应采取逐步升温的供电制度。旧坩埚从 $100\sim 800^{\circ}\text{C}$ 时緩慢加热，炉温高于 800°C ，即坩埚壁已发紅亮时，可給大功率，快速熔化。

3. 冶炼操作——鎳鉻不銹鋼的冶炼举例

现通过不銹鋼的冶炼來說明冶炼具体工艺过程。鎳鉻不銹鋼是一种对C、P、S要求严格的优质鋼，因此，原料中的C、P、S含量应低，除返回鋼外，所补加的炉料有鎳、鉻鉄和工业純鉄等。純鎳表面不应有太多的鼓泡，否則含气較多。鉻鉄含C、Al等杂质应尽量低，且块度适当。

因感应炉冶炼时间短，只需一小时左右，来不及炉前分析，因此对感应炉來說，配料是一件极其重要的工作，必須精确的計算并进行复算。元素的烧損率为：Si—— $3\sim 5\%$ ；Mn—— $2\sim 3\%$ ；Cr—— $2\sim 3\%$ ；Ni——不烧損。鉄料更要精确过称和驗秤。

通电熔化时，应及时用鉄棒拨动炉料，避免“架桥”。架桥形成后，应立即拆毁。拆桥时不应过剧的冲击坩埚壁。实际工作中，低炭鋼和工业純鉄因熔点高最易架桥，操作时更应注意。随着熔化的进行，可将无法一次装入的剩余的鉄料，陆續地加入，但每次不宜太多，更不許将冷料直接加入金属液內，否則会发生剧烈的沸腾或噴濺，而造成事故或金属液上涨到尚未熔化的料块之間，形成“桥”。

鉄料全部或大部分熔化时，将事先配好的渣料尽早盖在

鋼液上面，以防止金屬的氧化和減少熱損失。使用的渣料應依所煉鋼種而定，它的熔點愈低愈好。因為感應電流不能加熱爐渣，故渣溫不高，流動性差，為保證正常冶煉，應注意控制爐渣，使它適應感應爐的特點。

熔化速度的快慢，取決於造渣操作、爐料的性質和塊度大小，但合理的供電制度也起很重要的作用。

料化清後，再加熱一段時間，鋼水溫度很快的升高。為得到準確的溫度，可於此時用光學高溫計或浸入式熱電偶測溫。為提高石英質熱電偶保護管壽命或防止石墨套管感應，應于測溫時切斷爐體加熱電源。爐前需要取化學分析試樣參考時，可用光滑的鉄棒在撥開渣面後快速沾取，并于水中急冷，這樣可得到厚度極薄且脆的合乎分析要求的鋼樣。取科研用之試樣，可直接用石英管插入鋼液中吸取或用粘滿爐渣的樣杓舀取之。試樣較大時，亦可斷電傾爐倒取，但應注意擋渣，防止雜質混入。取樣方法可根據具體實驗要求而定。目前所用方法各有利弊，有待今後改進。

鋼液溫度合格後，隨之進行爐渣及鋼液的脫氧和合金化的操作，二者同時並進。每爐所用合金料，量多時必須事先預熱。合金的加入次序，應考慮以下兩個原則：

- a. 熔點較高者可先加入，如 Fe—W、Fe—Mo 等；
- b. 易氧化的元素回收率低，應後加入，如 Fe—Mn、Fe—Si、Fe—Ti、Al 等。

上述原則可以同時考慮，但還應看合金加入量的多少，不要機械地確定其加入次序。

煉含錳不銹鋼時，首先將預熱好的 Fe—Mn 加入其總量的二分之一，進行預先沉淀脫氧。Fe—Mn 化完後，再將預熱的 Fe—Cr（或金屬鉻）加入爐內，每次加入量不宜太多，防

止溫度下降，而拖延冶煉時間。熔化Fe—Cr（或金屬鉻）的同時，要進行擴散脫氧；將強的脫氧劑（Fe—Si粉；Ca—Si粉、Al—石灰等）加在渣子上面，將渣中氧化物（如MnO、 Cr_2O_3 等）還原到鋼液中去。脫氧劑的選擇應依所煉鋼種而定。當Fe—Cr（或金屬鉻）全部加完後，將剩餘的Fe—Mn加入爐內，使其熔化。在這一段時間內，應連續進行脫氧。脫氧的好壞，可用鉄棒蘸渣而後浸入水中使其快速冷卻，觀察渣的顏色。渣的顏色變白或灰白不帶豆綠色時，說明渣子脫氧良好。隨後，為Fe—Si或其他易化的合金及最後脫氧用的鋁在出鋼2～4分鐘先後分別加入。合金熔畢後，測溫，取樣並準備出鋼。出鋼一般是將鋼液從爐內直接注入鋼錠模內；如有特殊要求時，可採用盛鋼桶澆注，在這種情況下，出鋼溫度應稍高些。出鋼溫度的選擇，依具體鋼種而定。

直接向鋼錠模內澆注時，出鋼前可進行扒渣操作，且越快越好。出鋼時還要擋渣，以防鋼和渣一同注入鋼錠模內，影響鋼的質量。

4. 冶煉過程中注意事項

（1）熔化過程中，應特別注意避免架橋，以及適時地調節輸入功率，並及時造渣，防止金屬的氧化和減少熱能的損失。

（2）脫氧過程中，必須嚴格地控制溫度，不宜過低。確知鋼液溫度低時，應及時調整輸入功率。當溫度足夠時再加合金脫氧。

（3）加合金時，應特別注意避免合金與爐渣相接觸而混在一起；這樣損失較大。操作時可將渣子撥開而後加入合金。加入後應及時將合金壓入金屬液內，否則浮在鋼液表面燒損較大。加冷的或脫氧力強的合金和脫氧劑時應注意避免

噴濺。

(4) 每次加入的合金量不宜過多，避免鋼液凍結，延長冶煉時間。

(5) 在合金化和出鋼之前，應用鐵棒檢查爐底，避免鐵料未熔清即行合金化和合金未熔化即行出鋼的不正常操作。

(6) 在保證爐渣鹼度的同時應注意渣的流動性，過稠的爐渣不利化學反應，但過稀的渣子對坩堝浸蝕較大，影響坩堝壽命。

三、熔煉用的坩堝

1. 坩堝的製造

坩堝的製造，一般有爐內及爐外成型兩種方法。在此，僅將爐外成型的鹼性鎂砂坩堝的製造工藝過程作簡要的敘述。

配料

合理的配料比，對坩堝的結構強度及燒結後的機械強度影響很大，故正確選擇坩堝材料粒度的大小及其混合比例是提高坩堝壽命的重要方法之一，下面介紹一下不同容量坩堝的配料比（如表1）。

粘結劑

水玻璃的用量如表2所示（表內系指濃度為56度的水玻璃的用量。如濃度為51度時，則增加1%）。

應該指出：為了使粘結劑的濃度適當達到使坩堝材料較好的濕潤和粘結，必須加入適當的熱水（40~60℃），這樣可以加速水玻璃的溶解速度，避免了由於用冷水而使水玻璃難溶于其中，形成塊狀，使坩堝材料混合不均，造成成型坩