

〔苏〕С.Л.斯捷潘尼扬茨著 于 忠译

铁合金

生产工艺过程

自动化

АВТОМАТИЗАЦИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ
ФЕРРОСПЛАВНОГО
ПРОИЗВОДСТВА

冶金工业出版社

76.185
C.2

铁合金生产工艺 过程自动化

〔苏〕C.П.斯捷潘尼扬茨 著
于 忠 译

(ZK567/30)

ZK507/037



内 容 提 要

本书简单介绍铁合金冶炼工艺、电炉结构及生产工艺设备等并论述了矿热电炉熔炼空间的特性。着重阐明炉料准备及配料过程自动化、冶炼电气制度与热力制度和气体净化系统自动控制问题。列举了应用电子计算机控制铁合金生产工艺过程的实例。

本书可供铁合金工厂和设计研究部门的工程技术人员参考。对大专院校铁合金冶炼专业的学生也有参考价值。

铁合金生产工艺过程自动化

〔苏〕C.И.斯捷潘尼扬茨 著

于 忠 译

责任编辑 王华宗

冶金工业出版社出版

（北京北河沿大街源顺院北楼59号）

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 1/8 字数132千字

1988年10月第一版 1988年10月第一次印刷

印数00,001~2,700册

ISBN 7-5024-0086-9

TF·24 定价1.50元

译者的话

本书译自苏联冶金出版社1982年版С.Л.斯捷潘尼扬茨(Степанянц)所著《Автоматизация технологических процессов ферросплавного производства》。

本书系统地阐述了铁合金生产过程中熔炼炉料的配料与供料、冶炼电气制度与热工制度及气体净化和分析系统的自动化控制问题,介绍了应用电子计算机实现铁合金生产工艺控制自动化的方法。

该书对于从事铁合金生产和设计研究工作的工程技术人员及自动化系统的操作人员具有实用价值,对实现我国铁合金生产过程自动化具有借鉴和参考作用。

本书第6章承冶金部自动化研究所盛伟志同志作了校订,在此谨致诚挚感谢。

由于译者水平有限,译文中可能有错误和不妥之处,请读者批评指正。

一九八六年五月

前 言

在苏联第十一个五年计划期间，国民经济发展的主要方向是继续扩大国民经济的物质—技术基础，而其基础便是重工业。重工业的主要方面之一是黑色冶金，党和国家对发展黑色冶金予以极大的重视。

对铁合金生产也提出了具体任务——完善铁合金工艺；极大提高铁合金产品质量和扩大品种；建造并投产单容较大的冶炼设备；加速对现有的铁合金工厂进行设备更新和技术改造；拟制利用铁合金封闭电炉的炉气进行炉料入炉前加工处理等措施，并付诸实现。

在自动化方面，应在企业里以广泛应用计算机技术为基础，建立起完全实现自动化的大型冶炼设备和车间，并应用现代的控制系統对工艺过程和生产管理进行自动控制。

为顺利完成上述各项技术—经济任务，需要解决一系列科学技术和工程问题：

研究拟制出新的较为先进的冶炼工艺过程（矿石造块、炉料预热和部分预还原）；

研究掌握生产率较大的新型工艺设备与装置（单容较大的电炉、电炉变压器、浇注机、炉料压块机、干燥窑等）；

工艺过程及其它工序综合机械化；

应用电子计算机实现铁合金生产过程综合自动化。

对铁合金生产发展过程的分析表明，如果解决了上述问题，将可使投资费用缩减15~20%，加工费用下降20~25%，劳动生产率提高50~100%。

近年来，铁合金发展突飞猛进。电炉硅铁产量提高了80%，锰系合金提高了2.7倍，铬铁产量提高了90%〔1〕。

在第十个五年计划期间，一些铁合金厂的许多大型封闭电炉相继投产，其中有40和80MVA硅铁熔炼电炉、63和81MVA碳

素锰铁和硅锰合金熔炼电炉以及容量为33MVA用于生产硅铬合金和再制碳素铬铁的电炉。

除投产了一批大型新电炉之外，还对现有的电炉进行了技术改造，增大了电炉变压器容量并将敞口电炉改为封闭电炉冶炼形式〔2〕。

在改善原料入炉前的备料质量方面完成了大量工作。锰精矿烧结机和压块机、铬矿干燥设备已投入运行。

掌握了使用安加尔半焦作还原剂熔炼硅质和铬质铁合金的工艺方法，从而极大地提高了冶炼过程的技术经济指标。

在发展铁合金生产上具有重大贡献的是，大宗铁合金产品实现机械化浇注和成品精整，并实现了工艺过程，首先是原料配料和电气制度调节自动化。工艺过程已由局部系统控制向应用电子计算机的自动化控制系统过渡。

在本书编写过程中，参考应用了定期出版的文献及专题学术论文、苏联铁合金工厂的实践经验以及在本书作者领导下所完成的科研成果。

作者对科学技术博士H.M.杰哈诺夫、尼科波利铁合金厂冶金自动化中心实验室主任H.B.斯捷布良科及黑色冶金自动化科学研究所的科研人员H.П.马克西莫夫、B.Я.斯维申柯和B.B.戈德恩在编写过程中给予的帮助，以及对书评家、技术科学副博士A.Γ.努得仁科提出的宝贵意见表示深切的谢意。

作者由衷地感谢黑色冶金领导人员进修学院的领导，这本书是在他们的倡导下编写出版的。

目 录

第 1 章 铁合金生产工艺与设备的简要特性	1
1.1 工艺过程概况	1
1.2 电炉结构	6
1.3 铁合金炉电气设备	12
1.4 机械设备	18
第 2 章 冶炼空间特性及工艺关系	24
2.1 炉膛结构	25
2.2 炉膛电场	25
2.3 炉膛内热力场	28
2.4 工艺关系	29
第 3 章 炉料准备与配料过程自动化	32
3.1 炉料准备运送线自动化	32
3.2 自动化配料	36
3.3 间断动作配料系统	37
3.4 连续动作配料系统	44
3.5 配料设备的检验	58
3.6 炉料流水线自动化系统的仪器与元件	60
第 4 章 冶炼电气制度自动化	76
4.1 铁合金电炉的电气制度	76
4.2 电气参数自动测量	80
4.3 调整方法	83
4.4 铁合金电炉调整特性曲线	88
4.5 电气制度参数与调整方法的选择	93
4.6 对电气制度调节器的要求	95
4.7 自动调节器	97
第 5 章 冶炼工艺过程与气体净化自动化	111
5.1 自焙电极焙烧与下放过程自动化	111
5.2 冶炼烟气制度自动化	122
5.3 炉气分析	128

第 6 章 应用电子计算机实现铁合金生产工艺过程自	
动化	137
6.1 控制对象的特性	138
6.2 工艺过程自动控制系统的用途与功能	139
6.3 工艺过程自动控制系统的结构	140
6.4 程序支援	146
6.5 应用计算机系统产生的经济效益与社会效益	149
6.6 自动控制系统的抗干扰性能	149
参考文献	150

第1章 铁合金生产工艺与设备的简要特性

1.1 工艺过程概况

铁合金生产的特点之一是其最终产品品种极为繁多。然而，主要品种却只有硅、锰、铬合金。这些合金通常是在大型电炉里熔炼。

生产铁合金所使用的原料一般是由三类主要组分组成：含有主要元素的矿石、烧结矿或精矿；还原剂；在某些情况下有熔剂和含铁材料。在每一个具体冶炼过程中，所使用的炉料是由不同的原料组成的。各种原材料预先经备料处理——破碎、过筛、干燥及磁选，在必要情况下需进行造块。经过加工处理后的炉料借助于输送流水线系统运至配料跨间，炉料在此处经过称配后，运进电炉冶炼跨间，然后分装于电炉料斗里。炉料从电炉料斗直接进入炉。炉料在炉内，借助于从专用电炉变压器导出并通过电极输入炉膛内的电能加热熔融。

大型矿热电炉通常采用自焙炭素电极，而精炼电炉则使用石墨电极。在电炉里进行还原反应过程，主要元素氧化物在反应过程中与含在炉料中的铁氧化物一同被还原。

对于用电炉生产铁合金的大多数工艺过程来讲，氧化物还原及一些必要化合物的生成温度一般在 $1500\sim 2000^{\circ}\text{C}$ 范围内。在熔炼过程中所进行的反应基本上是些强烈的吸热反应，因此铁合金生产工艺过程耗能很大。依所熔炼的合金牌号不同，其单位电耗为 $3\sim 12\text{MW}\cdot\text{h}/\text{t}$ 。熔炼过程耗电量很大，这是应用大容量电炉生产铁合金的主要原因之一，因为随着电炉单容的增大，电损在总能平衡中所占的百分率相应减小，因而单位输入电能的电炉生产率提高，单位电耗下降。

化学反应在炉膛内进行的过程中，逸出大量气体，主要是由一氧化碳组成。用敞口电炉进行熔炼时，CO在炉口便被空气中

的氧所氧化，生成 CO_2 ，然后由通风系统将其由熔炼区内排出。用封闭炉熔炼时，炉气经净化后作为高热值燃料应用于各种不同方面。

由于物理—化学反应的结果，合金与炉渣积存于炉底上，它们定期地经过出铁口放入包内或渣罐里。将熔融金属运到浇注间，用连续作业的浇铸机进行浇铸，或者注入锭模里。冷凝后的铁合金锭，经过破碎、筛选分级、包装后，装在包装箱里或装在车箱及集装箱里运给用户。

1.1.1 硅基铁合金熔炼

以硅为基的铁合金主要是含硅18~90%的硅铁。生产硅铁的炉料是由硅石、焦炭和钢屑组成的，这些原料根据合金的牌号，按不同配比进行配料。

硅铁基本上是在容量为16.5~80MVA三相封闭矿热电炉里进行熔炼的。在熔炼过程中，逸出大量炉气，排出少量炉渣。在炉况正常的情况下，电极周围的炉料均匀地下沉入熔炼区内，电极深而稳地插入炉料中，并且各相电流负荷均对称，炉气在整个炉口料而上均匀逸出。在这种情况下，炉盖下方的气体温度约为500~600℃。熔炼过程电气制度的特征是，线电压为150~210V，电极电流达120kA^[3]。

在熔炼过程中，炉况恶化的主要原因是电炉以过剩或不足量还原剂的炉料进行操作。当还原剂过剩时，冶炼过程的特点是电极上抬，熔体温度下降，在这种情况下，电极负荷不稳，炉气中含尘量增大且其温度升高；当还原剂不足时，电负荷下降，炉料烧结。这两种情况都将使工艺制度遭到破坏，从而致使电炉生产率下降和单位电耗增高。

1.1.2 锰基铁合金熔炼

锰基合金中应用最广的是锰铁和硅锰合金。熔炼锰系铁合金的炉料由若干组分组成（多达9种），其中主要有锰精矿、锰烧结矿、还原剂、硅石和钢屑。

碳素锰铁和硅锰合金是在容量达81MVA的三相矿热电炉里

进行熔炼。使用3根及6根电极的电炉，炉缸为圆形和矩形截面。

熔炼碳素锰铁时，其电气制度特性是，工作线电压为110~160V，电极电流为35~100kA。熔炼过程中生成大量炉渣，逸出大量气体。炉盖下方的气体温度达450℃。炉况正常的特征是：电极深而稳地插入炉料中；下料均匀，无塌料现象；气体沿整个炉口料面均匀逸出；各相负荷均匀。

工艺制度被破坏的主要原因是还原剂过剩或不足。当为前一种情况时，电极下插深度逐渐变小，锰挥发量增大；当为后一种情况时，电极插入深度过大，电极上的电流负荷变得不稳，渣中跑锰量增高。以上两种情况均会导致电炉生产率下降，单位电耗上升，合金中锰回收率下降。电炉变压器高压侧电压波动对锰铁冶炼的技术经济指标影响极大。当二次侧电压高于一定限度时，单位电耗将增高，而合金中锰的回收率将下降。

熔炼硅锰合金时的电气制度特性是，线电压为120~200V，电流为50~100kA。熔炼过程中产生大量炉渣并逸出大量的炉气。炉盖下方的温度不超过450℃。还原剂过剩会导致电极插入深度减少，造成溅料和塌料，因而电炉生产率下降。电炉冶炼过程中如果电极过短，也会造成工艺制度被破坏的类似现象发生。

中碳锰铁和金属锰是在容量为2.5~5.0MVA的三相电炉里进行熔炼的。熔炼工艺为间歇式，并分为两个阶段。开始时，在电压为250~320V的条件下送电起弧，熔化炉料，然后在电压为130~250V的情况下进行贫化和精炼。由于采用较高的电压进行操作，所以冶炼过程是按电弧制度进行的，且具有电流负荷不稳定的特性。

高牌号金属锰除用电热法生产外，还采用电解法。经过净化处理后的硫酸锰溶液（用硫酸处理锰矿而得）连续不断地注入电解槽中。金属锰在阴极板上沉积下来。在电流为2000A、电压为5V的条件下进行电解，电解液温度为35~37℃。电解持续时间为24h。

1.1.3 铬基铁合金熔炼

根据铬铁的不同牌号，炉料由相应配比的铬矿、富铬渣、石灰、硅石、焦炭、钢屑、再制铬铁及硅铬合金组成。

碳素铬铁和再制铬铁是在容量为12.5~33MVA的三相敞口电炉和封闭电炉里进行熔炼的，线工作电压为140~200V，电极电流为6~60kA。在熔炼过程中，产生大量炉渣，逸出很多炉气。电能主要是在渣内放出，因此电炉操作情况如同电阻炉。

用封闭电炉熔炼碳素铬铁时，炉盖下方的温度约为100~200℃。冶炼工艺过程正常的特点是，电极深而稳地插入料中；下料均匀；沿整个炉口料面逸出炉气。如果硅石和还原剂的配料量与规定量相偏差，则使工艺制度遭到不同形式的破坏，最终将导致电炉生产率下降及单位电耗增高。

硅铬合金在容量为9~16.5MVA三相敞口式电炉中进行熔炼，线工作电压为140~160V，电流为30~50kA。炉料各组分准确称配以及电极下插稳而深，是保证工艺过程正常进行的主要条件。

1.1.4 炉料准备

电炉生产铁合金的特点是，必须加工处理大量原材料，因为这些原材料的质量在很大程度上决定着工艺过程的技术经济指标。炉料的各项质量指标稳定，首先是其化学成分和粒度组成稳定，是保证冶炼制度稳定，从而使原料和电力资源得以有效利用的基本条件之一。但是，熔炼用原材料的质量指标，特别是矿石，依其产地不同波动很大。因此，炉料在入炉使用之前，按具体冶炼工艺过程的要求，应先进行备料。

原材料的备料方法有各种各样，但基本上可归纳为以下几种加工处理方法：按原材料粒度组成分级、按化学成分均料、破碎、干燥、混合、烧结、浸湿及造块等。

为满足工艺要求，炭素还原剂应具有良好的反应性能、比电阻较高、透气性和热稳定性好，应有适宜的块度。

在铁合金生产中，最为广泛应用的还原剂是碎冶金焦。近几

年来，熔炼硅质和铬质铁合金时，部分冶金焦已为比电阻较高的半焦所代替。使用半焦可使电极深而稳地埋入料中，从而使电炉生产率提高5~10%，单位电耗下降4~7%^[1]。炭素还原剂的准备过程便是焦炭破碎及筛选出10~25mm粒度的焦粒。

熔炼铁合金用的硅石应具有适宜的块度和化学成分，以满足具体工艺过程的要求，此外，其吸水性应较低。硅石入炉前的备料过程是，破碎和筛选出需要的块度（20~80mm）。

对铁合金生产用矿石质量的基本要求是，矿石中主要元素含量应较高；而磷、硫等有害杂质含量应很低。对炉料矿石部分的粒度组成予以正确选定，这对保证正常的工艺制度也具有重要意义。

熔炼铁合金用的矿石，根据具体工艺过程的要求需要经过各种不同的加工处理。必要时，矿石经破碎后，筛选出所需的粒度。粒度小于8mm的锰精矿用烧结机或压块机造块。在进行某些熔炼过程时，铬矿与石灰石经混配后，一起装入回转窑，在900~1000℃下进行焙烧。在许多情况下，炉料矿石部分中的某些组分需经过干燥阶段。

钢屑需经筛选、破碎加工处理，必要时，需在特种炉中进行灼烧脱油。

通过上面对原材料准备过程的简要叙述即可看出，铁合金冶炼用的各种炉料组分，根据工艺过程的某些需要进行不同形式的加工处理。炉料准备工段装配自动化装置的基本任务在于，监测与稳定备料过程的工艺参数；保证设备和各种机械按规定程序连续运行。原材料的备料质量具有重要作用，但并不是有决定性的作用，因为在铁合金熔炼时，不是单独使用某种原料，而是使用按规定配比的混合炉料。因此，混合炉料的制备质量在铁合金冶炼工艺中才是具有决定性作用的。混合炉料，或简称为炉料，利用各种设备及配料系统混合称配组成。对这些设备和配料系统的基本要求是连续不断地将规定配比的炉料投入炉内。

1.2 电 炉 结 构

铁合金工厂现有的电炉结构型式不一，电炉变压器的额定容量大小各异。然而，可以将直到不久之前仍是最广泛应用的那些电炉分为两大类。这就是PKO-15.5和PK3-16.5型三相圆形矿热电炉和PKO-3.5和OKB-262型三相圆形精炼电炉。这些电炉在苏联许多铁合金工厂正常地运行着。目前，大多数电炉都已改造，这样便可增大电炉容量，并能应用各种铁合金生产工艺〔4〕。

近年来，建造并投产了一批新型大容量封闭电炉，具体类型如下：

PK3-33型圆形截面炉缸三电极矿热电炉，用于熔炼硅铁、硅铬合金、碳素铬铁和再制铬铁；

ППЗ-48型和ППЗ-63型矩形截面炉缸六电极矿石还原电炉，用于熔炼碳素锰铁和硅锰合金；

PK3-63型圆形截面炉缸三电极电炉，用于熔炼硅铁及其它合金；

PK3-10.5型圆形三相精炼电炉，与生产铬矿-石灰熔体（用该熔体以热兑法生产微碳铬铁）的焙烧旋转电炉配套。

自采取了增大冶炼设备单容的铁合金生产方针后，使铁合金产量显著增高，单位投资额下降，提高了劳动生产率，缩减了操作费用〔2〕。

除了一些大型电炉设备投入运行之外，对原材料加工备料、炉料称配以及往炉上供料的一些工艺设备也进行了技术改造。在许多新的铁合金生产车间里，装设了以远距离控制方式进行操作的流水运输线系统。在这些备料、配料及供料的工段里，普遍采用长距离运输带方法传送炉料，这可以集中原料的制备过程。

1.2.1 PK3-16.5和PKO-16.5型电炉

PK3-16.5H11型三电极封闭式矿石还原电炉用于生产硅锰合金和硅含量为65%以下的硅铁。对于熔炼含硅量74~80%的硅铁，是采用PKO-16.5型三电极敞口式矿石还原电炉〔5〕。

PK3-16.5型电炉（图1）具有圆柱形炉缸7，其上用若干部件组成的水冷金属炉盖4封闭起来。炉缸内砌有炉衬8。炉料通过三个围着电极安装在炉盖上的水冷料斗，沿着料管加到炉内。炉盖结构设计为炉气捕集系统9与气体净化装置在三个点上相连接。

由三台容量各为5.5MVA单相变压器11向电炉供电，这三台变压器可与无功功率纵向电容补偿装置相接。电能通过在电极上接成“三角形”的短网12导入炉内。电流通过焊接在导电铜瓦3的导电铜管引到电极上。自焙电极升降移动是由液压传动装置2实现的，而电极压放则是借助于液压弹簧机构1完成的。为了改善自焙电极的烧结质量，电炉上装设有稳定套筒与电极之间隙内空气温度的装置。电炉装备有炉缸旋转机电机构6，可使炉缸以

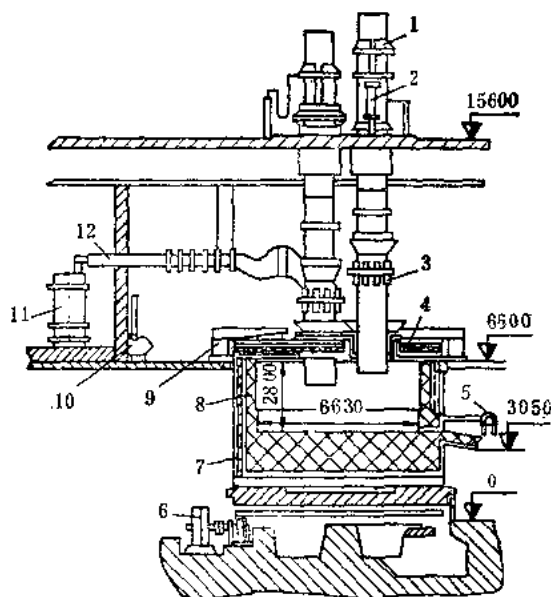


图1 PK3-16.5H1型电炉结构

- 1—液压弹簧机构；2—液压传动装置；3—导电铜瓦；4—水冷炉盖；
5—电气燃穿器；6—炉缸旋转孔机构；7—炉缸；8—炉衬；9—炉气
捕集系统；10—水冷系统；11—单相变压器；12—短网

±120°作扇面可逆旋转。应用电气液压功率调节器（由循环泵站供能）实现稳定冶炼电气制度。

电炉设计有两个出铁口，利用电气烧穿器5烧穿出铁口。电气烧穿器与电炉变压器低压侧的一个出端相接。电炉装设有水冷炉缸部件、炉盖、导电管等的水冷系统10。装有电气仪表及液压仪表的控制盘和操纵台全部与电炉相接。

PKO-16.5H4型电炉与PK3-16.5H11型电炉的不同之处，主要是没有炉盖。

上述电炉是各种结构型式PK3-16.5型电炉的标准设计。这些电炉经过改造后可以提高电炉设备的功率因数及机构运行的可靠性，特别是电极升降液压传动系统的可靠性更能大为提高。

PK3-16.5型电炉的技术特性

电炉标称容量, MVA	16.5
电炉变压器空载二次电压范围, V	204~130
电极最大电流, kA	60
电极直径, mm	1200
电极升降平均速度, m/min	0.5
电极行程, mm	1200
电极壳内径, mm,	
PK3-16.5H11型	8200
PKO-16.5H4型	7800

1.2.2 PK3-33M2型与PK3-63M1型电炉

PK3-33M2型三电极封闭式电炉用于熔炼硅铁和硅铬合金^[6]。电炉系由圆形炉缸7组成（图2），以水冷金属炉盖5封闭。炉料沿着料管，通过料斗4落入电极周围的缝隙内，然后进入炉里。为使炉气从炉内排出，在炉盖上设计有几个孔，它们与气体净化系统相连。电流由三台单相变压器9，通过短网10（在电极上接成“三角形”）向电炉供电。电炉变压器结构设计规定，要与无功功率纵向电容补偿装置相接通。

电炉有三根自焙电极，按等边三角形顶点排列。电能借助于接触铜瓦3导向电极，铜瓦上装设有远距离控制的液压传动装

置。电极升降是靠液压传动装置 2 实现的，而电极压放则是靠弹簧液压装置 1 来完成。某些电炉还装有可逆旋转机械装置 6。

电炉上装配了电气液压功率调节器，用于调节电炉电气制度。电炉设备有水冷系统 8，该系统装配了各种监控测量仪表。为了监测炉盖下方空间内的气体温度，安放了热电偶，它们是插在炉盖上面几个小孔内。安装调节与监测仪表的控制台和操纵盘全部与电炉相连接。

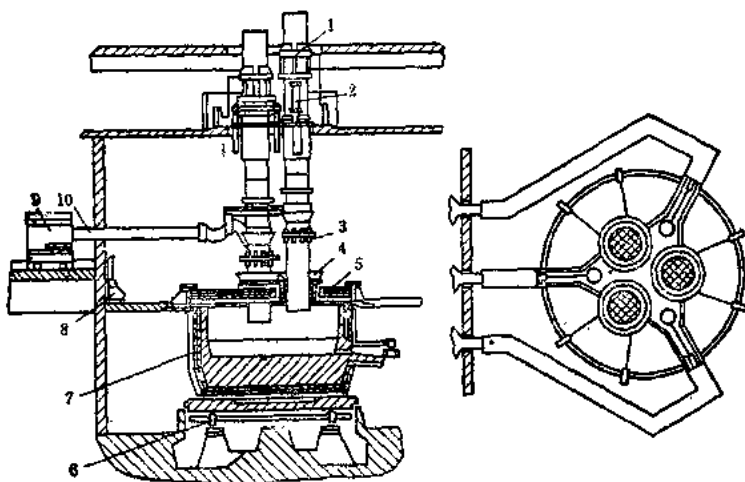


图 2 PK3-33M2型电炉结构

1—弹簧液压装置；2—液压传动装置；3—衬瓦；4—料斗；5—炉盖；6—可逆旋转机构；7—炉缸；8—水冷系统；9—单相变压器；
10—短网

电炉技术特性

	PK3-33M2型	PK3-63M型
电炉标牌容量, MVA	40.0	80
工作电压, V	231	257
电极计算电流, kA	83.0	142
电极直径, mm	1500	1900
电极行程, mm	1500	1200
电极升降平均速度, m/min	0.5	0.5