

碳素电极和 人造石墨制品

〔苏联〕M.M.安彭列维奇 著

中国工业出版社

81.33
189

碳素电极和 人造石墨制品

〔苏联〕M.M.安格列维奇 著

田国川 崔凌华 盛章瑜 孙宝林 合译

21-19108



本书叙述了电极制品的生产工艺原理和电冶金过程原理，介绍了异形人造石墨材料和制品的种类与性能。人造石墨材料和制品在新技术中，作为有色金属和特殊钢的代用品方面有着重大的意义。书中还介绍了电炉用电极的选择方法，影响电极强度与使用寿命的条件，以及使用电极的先进经验。

本书供电极工业的工人和工长阅读，也可供电极和人造石墨制品使用部门的工作人员使用。

М. М. Ангелевич
УГЛЕРОДИСТЫЕ ЭЛЕКТРОДЫ И
ГРАФИТИРОВАННЫЕ ИЗДЕЛИЯ

Металлургиздат Москва 1961

* * *

碳素电极和人造石墨制品

田国川 崔凌华 盛章瑜 孙宝林 合译

*

冶金工业部科学技术情报产品标准研究所书刊编辑室编辑（北京灯市口71号）

中国工业出版社出版（北京沙滩后街55号）

北京市书刊出版业营业登记证出字第110号

中国工业出版社第三印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ ·印张 $4 \frac{3}{8}$ ·字数90,000

1965年10月北京第一版·1965年10月北京第一次印刷

印数0001—1,090·定价（科二）0.36元

*

统一书号：15165·4142（冶金-639）

目 录

绪 论	1
第一章 碳素电极	4
电弧炉	4
压制电极	7
填充式电极	29
第二章 碳素人造石墨材料与异形制品	35
碳素人造石墨材料的应用与性能	35
提高碳素人造石墨材料密度与化学稳定性的方法	45
碳素材料用的涂料与粘合剂	49
碳素人造石墨制品的主要品种	53
碳素人造石墨材料及制品在国外的应用	94
第三章 碳素电极与人造石墨制品的工艺原理	99
原料及其性能	99
原料的预碎和煅烧	103
碳素材料的磨碎与筛分	106
碳素粉末的配料与混捏	108
碳素坯料的压制	110
电极产品的焙烧	112
石油碳素坯料的石墨化处理	115
碳素电极及制品的机械加工	118
电极制品的试验与包装	125
附 录	131
参考文献	136

緒 論

冶炼特殊鋼、鉄合金、鋁、鎂及其他有色和黑色金属的电炉与电解槽的工作空間，都用碳电极和人造石墨电极作为电流导体，因为在高温熔炼条件下，不能使用金属导体。异形人造石墨碳素制品在工业中被广泛地用来代替合金鋼、鉛、銅以及巴比合金等金属，其品种有：坩埚、軸套、加热器、密封圈、板材、管材、鑄模、热交换器及其它制品。

电冶金的发展与世界各地工业发达国家的伟大发明和創造有着密切的关系。俄国的物理学教授瓦西里·弗拉基米洛維奇·彼得洛夫，于1802年发现了电弧現象，而且利用电弧采用碳还原金属氧化物的方法，进行了从矿石中提炼金属的試驗。科学院院士楞次和雅科比制成了世界上第一台电动机，以自己的理論著作奠定了現代电工技术的基础。

随着其他国家电冶金的发展，在苏联，由科学院院士A.A.巴依柯夫和教授M.C.馬克西緬柯、П.П.費多季耶夫、H.H.庫尔納柯夫、R.П.格里果羅維奇以及其他一些俄国学者的領導，制定了生产电炉鋼、鉄合金、金属鋁、金属鎂及其他許多黑色和有色金属的工艺方法。

电冶金和电化学工业的发展，要求建立碳素和人造石墨难熔电极的制造工业，因为电极是电熔炼炉的一个重要組成部分。

按物理机械性能，电极厂的产品可分为两类：碳素电极及其他压制碳素制品；人造石墨电极及人造石墨异形制品。

碳素电极、碳板及碳块制品，是用无烟煤、鑄造焦和石

油焦制成，使用煤焦油瀝青做粘合剂。电弧炉用人造石墨电极及用人造石墨坯料加工成的异形制品，是用低灰分石油焦和煤焦油瀝青制成。

人造石墨异形制品适用于制造那些不润滑，在于摩擦条件下，于低温、高温和侵蚀性介质中工作的新机器、设备和仪器。

为了使电炉中的电极在电弧所造成的高温下正常工作，电极必须具有很高的热稳定性和导电性。

大家都知道，在广泛应用的材料中，只有碳素电极具有这种性能，因为碳在电弧的高温下是最稳定的一种材料，它能导电，化学活性弱，使用方便。

根据制造方法和在电炉中的使用条件，电极分为压制和填充电极两种。

电极应符合下列要求：

- 1) 在高温条件下稳定性高，同时导电性相当良好；
- 2) 为避免电能过多损失，比电阻应尽可能小；
- 3) 为了在受热时被空气氧化最小，气孔率应尽可能低；

4) 为使电极与导电夹具间的接触紧密，应具有正确的几何形状。在掌握国产碳素电极的生产过程中，苏联的电极制造者们积累了丰富的实践经验，而且为制造碳素电极和人造石墨电极的一系列物理化学过程，确立了理论基础。

制定了制造电极用的碳素原料的预碎和煅烧条件；确定了用球磨机、管磨机及其他磨碎设备磨碎碳素材料的磨碎标准；制定了电极产品配料粒度组成的选择原则和用混捏机以及水压机加工碳糊的条件；还制定了碳素电极和制造异形碳素制品所用坯料的焙烧和石墨化工艺制度。

德聶伯尔电极厂的电极制造者設計并且順利地掌握了电极、阳极及鋁电解槽內衬碳块的生产工艺。車利亚宾斯克电极厂的全体职工，在掌握大型电弧炼鋼炉、鉄合金炉及刚玉电炉用碳素电极和人造石墨电极的生产上，作了很多工作。

全苏鋁鎂研究院电极試驗室的工作人員，帮助电极企业的生产人員掌握了碳素电极与人造石墨电极的生产。

电极厂的工作人員一面在提高原料和設備利用的技术經濟指标，一面又在不断地改进电极制品的生产工艺过程，創造碳素制品的新产品。这些新产品越来越广泛地应用在許多工业部門。

第一章 碳 素 电 极

电 弧 炉

电极厂的产品——碳素电极和人造石墨电极，是冶炼钢、铁合金及其他许多黑色和有色金属的电炉的重要组成部分。

用电炉熔炼金属和合金需要电流的热，而电流必须借助于碳素电极导入电炉的熔炼带。冶炼各种钢、生铁、铁合金、以及电石所用的电弧炉，使用的是交流电；而制取金属铝、镁及其他一些有色金属的电解槽，则只能使用直流电。

电流通过电极产生电弧时，交流电的电能即转化成热能。此电弧就是穿过电极端部之间的炽热气体的电子流。

根据焦耳—楞次定律，电流通过导体时发出的热量是：

$$Q = KI^2Rt$$

式中 Q ——发出的热量，卡；

I ——电流，安培；

R ——导体的电阻，欧姆；

t ——电流通过导体的时间，秒；

$K=0.24$ ——测量的电能值换算成热能的系数。

黑色金属的电冶金中，使用的是装设有碳素电极和人造石墨电极的电弧炉（图1）。电流通过熔炼带的过程是：由电极到电弧，经电弧穿过熔渣达到金属液面。然后返回：穿过熔渣，经电弧再通入电极。而使用炉底导电的电炉时，电

流通过金属导入炉底耐火衬下的铜极板。

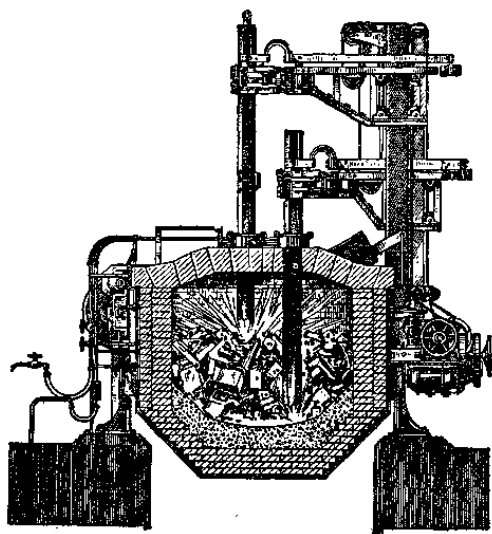


图 1 装有待熔废金属的电弧炉

在小型筒式电炉中，电极横插入炉（图 2）内，这种炉子主要用来再熔有色金属。电流接通后，电极间所形成的电弧，也是横向的。

电弧炉不论其构造有何差别，都带有金属外壳，壳内有耐火砖内衬；炉盖是用钢架衬耐火材料做成的活动炉顶；炉壳上设有装料口和液体金属出口。

碳素电极经炉顶圆孔插入炉内，用水冷式电极夹持器固定，电流经夹持器导入。为调整电弧，可通过自动调整装置

分別上下調整每根電極的高度。

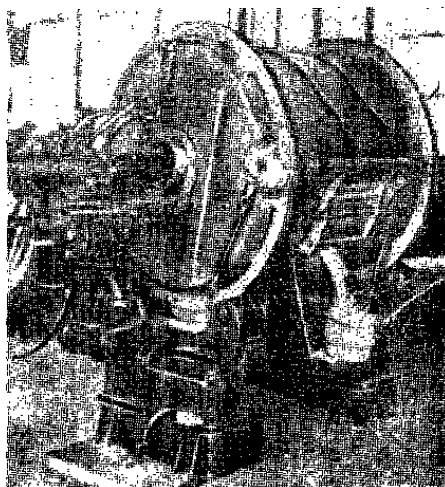


图 2 熔炼有色金属的筒式电炉

水冷式节热器是电炉的极重要的一个组成部分。安装它的目的，是缩小炉顶圆孔与电极间的缝隙，以防止炉中火焰和熾热的气体从炉中喷出；因为炉中喷出的火焰和气体，会烧损炉顶上部的电极与电极夹持器。

电弧炉分为两种：碱性电炉——采用碱性耐火材料作炉衬（如鎂砖），用这种炉子精炼金属除磷和硅；酸性电炉——采用硅砖作炉衬，用这种炉子炼钢，炉料經适当选择后不需除去有害杂质。

电弧炉熔炼的是鑄錠鋼。根据其物理化学性能与用途的

不同，电炉熔炼的钢分为工具钢、结构钢、不锈钢、耐热钢、磁性钢等数种。炼这些钢所用的原料是：废钢、残钢、熔剂与添加剂。

压制电极

压制电极分为碳素电极与人造石墨电极两种。

碳素电极 制品直径为100—760毫米，主要用于容量为3—10吨的电弧炉；但使用的条件是，电极的灰分不致影响所炼金属的质量，譬如炼碳素钢、铁合金和以双联法精炼生铁等。

人造石墨电极 制品直径为75—550毫米，主要用于容量小于3吨和大于10吨的电弧炉，熔炼那些要求电极纯度高、灰分低、剥落现象最少的不锈钢、耐酸耐热钢及其他合金钢。

碳素电极的性能如下：

	人造石墨电极	碳素电极
比电阻，欧姆·毫米 ² /米	8—14	40—55
许用电流密度，安培/厘米 ²	13—28	5.5—11.0
氧化温度，°C	600	400—500
灰份，%	0.2—1.3	5.0—7.0
真比重，克/厘米 ³	2.1—2.23	1.9—2.0
假比重，克/厘米 ³	1.5—1.7	1.5—1.65
气孔率，%	27—32	20—25
抗压机械强度，公斤/厘米 ²	150—350	200—450
比电阻的温度系数(20—75°C)	—0.00002	—0.00032

电阻 碳素电极和人造石墨电极的电阻决定于电极的截面、电流密度、焙烧或石墨化温度，以及电极的灰分含量和原

料质量。电极的电阻列于表 1。

电极的比电阻 (欧姆·毫米²/米)

表 1

电 极 种 类	电极直径 毫米	特 级 品 $\Theta\Gamma-0$	一 级 品 $\Theta\Gamma-1$	二 级 品 $\Theta\Gamma-2$
人造石墨电极	100以下	9	10	11
"	125—230	9.5	11	13
"	225以上	10	12	14
碳素电极	100—275	42	47	52
"	300—400	45	50	55

在电炉操作中，随着碳素电极的温度的上升，碳素电极的电阻逐渐下降，导热率不断上升。人造石墨电极在加热到 400—500° 时，其比电阻下降；但在温度继续升高时，电阻反而回升，当温度上升到 1400—1500° 时，电阻达到原值。

电流密度 即电流强度与电极截面之比。由于比电阻是随着电极横截面的增大而升高，因此小截面的电极所容许的电流密度要大于大截面的电流密度。譬如，直径为 150 毫米碳电极最大的允许电流密度是 11 安培/厘米²，而直径为 400 毫米电极的电流密度却只有 7 安培/厘米²。

人造石墨电极的导电率比碳素电极大约大 2—3 倍，因此电流密度允许更高，如直径为 150 毫米电极的电流密度为 24 安培/厘米²，直径为 400 毫米的电极的电流密度为 15 安培/厘米²。

如果电流密度高于规定的标准，那么就会引起电极接缝处的过热和碳素接头的烧坏，甚至有时引起部分接头连同电极一起断裂，掉入炉中；结果造成停炉，降低生产率和增加电极消耗。

为了检查电流负荷的大小和在电弧炉工作的任何时候计

算出电极的电流密度，必須首先知道相电流的强度和置在炉中的电极的截面。以相电流的强度除以电极横截面的面积，便可计算出电流密度：

$$\Delta i = \frac{I}{S}, \text{ 安培/厘米}^2.$$

电炉控制盘上均装有指示电流强度的安培計。为便于计算电流密度，现将各种电极的横截面列举如下：

电极直径, 毫米	横截面, 厘米 ²	电极直径, 毫米	横截面, 厘米 ²
100	79	275	594
125	123	300	706
150	176	350	962
175	240	400	1250
200	314	450	1590
225	398	500	1963
250	490	550	2724

电炉用压制电极的选择

正确的选择电极种类和规格，对电炉的正常工作有着很重要的意义。甚至在碳素电极和人造石墨电极质量良好的情况下，由于截面选择的不当，也可能影响电炉的正常工作。

选择电极类型时，要注意炉子变压器的容量和碳素电极或人造石墨电极的导电率。要知道，在截面相同的条件下，人造石墨电极的导电率要比碳素电极大2—3倍。

此外，选择电极时还要考虑到相电流的强度和不同类型、不同截面电极的许用电流密度。

在电流密度較小的条件下工作的铁合金炉和电石炉中，采用压制碳素电极或填充自焙电极。后一种是随着电极在炉

中的烧損，而不断填充加长的。

下列不同规格的人造石墨电极与碳素电极，在导电率与使用性能上相等：

人造石墨电极直径，毫米	碳素电极直径，毫米
100—125	150—200
125—150	200—250
150—200	250—300
200—250	300—350
250—300	350—400

压制电极的电力负荷见表2。

碳素电极和人造石墨电极的允许电力负荷 表 2

电极直径 毫米	电极横截面 面积，厘米 ²	电流负荷，安培		电流密度，安培/厘米 ²	
		碳素电极	人造石墨电极	碳素电极	人造石墨电极
125	123	—	2500—3000	—	22—26
150	176	1500—2000	3200—4200	9—11	13—24
175	240	—	4000—5300	—	17—22
200	314	2500—3200	5000—6000	8—10	16—20
225	398	3200—4000	6400—8000	8—10	16—20
250	490	3500—4500	7400—8800	7—9	15—18
275	594	3600—4600	7700—8800	7—9	15—17
300	706	4300—5600	10600—12000	6—8	15—17
350	962	5800—7700	15500—16500	6—8	14—16
500	1963	9800—11800	20000—25000	5—6	10—12

选择电炉用电极的品种和规格时，要进行以下的计算。

假设电极的相电流强度是6500安培，碳电极的平均许用电流密度是7安培/厘米²。

所选电极的横截面面积，可由相电流强度除以许多电流密度而求出。

$$S = \frac{6500}{7} \approx 928 \text{ 厘米}^2$$

从表 2 可看出，所求出的横截面面积大致符合于直径 350 毫米的碳电极。假如炉子尺寸允许安装这一规格的电极，那么计算到此便可结束。如果由于电极的安培负荷大、电炉尺寸小或要熔炼特殊等级钢，而不能使用直径 350 毫米的碳电极时，那么便应根据人造石墨电极的许用平均电流密度值 15 安培/厘米²另行计算。

所选人造石墨电极横截面的面积，由安培负荷除以电流密度求出：

$$S = \frac{6500}{15} = 433 \text{ 厘米}^2$$

计算出的面积大致符合于直径 250 毫米的人造石墨电极，用此根据计算，便可将这一直径的电极用在电炉上。

已知电炉功率和熔池尺寸时，要做 1 次验算。验算所用

碳素电极重量

表 3

电极直径，毫米	电极长度，毫米	电极重量，公斤	
		人造石墨电极	碳素电极
75	1000	7.0	—
100	1000	12.6	12.2
150	1500	42.0	41.0
200	1500	75.0	73.0
225	1500	105.0	93.0
250	1500	117.0	114.0
275	1500	142.0	138.0
300	1500	168.0	163.0
350	1500	230.0	225.0
400	1500	300.0	292.0
500	2000	—	668.0

的电流密度不是取其平均值，而是根据电极直径与种类不同，按其额定电流密度值进行验算。

各种规格的压制电极的重量列于表3。

正确操作压制电极的条件

碳素电极和人造石墨电极的操作情况，决定着电炉的生产率、所炼金属的质量、金属成本以及电力消耗。

不遵守正确的操作条件，即使是高质量的电极也常常会毁坏，甚至掉进熔融的金属中。

电极接头每次断裂或电极的毁坏，都要引起电炉生产率下降和消耗更多的电能去加热冷却了的金属，另外还使工人的劳动复杂化。

用户对电极产品的运输和贮存

碳素电极和人造石墨电极可用铁路带棚车厢、船舶和汽车运输。

运输和贮存电极时，必须防止受潮、弄脏和机械损伤。特别要注意保护电极的端部、接头和接头槽等主要工作部分。

运送电极时，须使用特制夹具，不能使用铁链和钢丝绳，因为电极会从绳套中滑脱，这对人造石墨电极更加危险，更不得使用“猫头起重机”抓取电极，因为起重机的挂钩会损坏电极接头槽的螺纹。

运送电极用的夹具（图3）可用8—10毫米厚的钢板制做，曲臂长度800—1000毫米，夹柄半径可按运送直径150—400毫米的电极计算。曲臂的中部焊有抓耳，端部有两个挂链子用的孔A和B；如拉紧链子，曲臂便立即将电极紧紧抓

住，这样便可用电动吊车或电葫芦运送。

电极不应存放在耐火材料、粘土、炉渣、混合粉料及其它物料附近，以免弄脏。

电极应水平堆放，下面要垫以木条（图4），每排电极间也要垫木条，木条上做成凹口以防止电极滚动。

碳素电极与人造石墨电极的接头应存放在仓库内洁净、干燥的地方，或放在车间里有盖的木箱内。

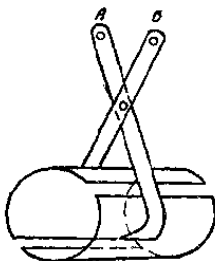


图3 运送电极用的夹具

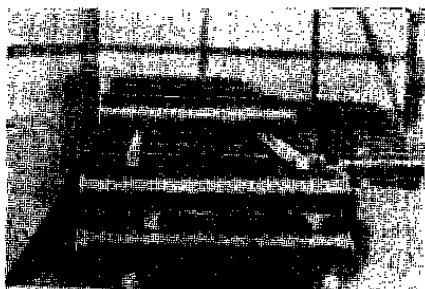


图4 电极的存放

从仓库向电冶车间运送电极和电极接头时，可使用载重汽车、电瓶车或手推车。注意采取措施，以防止电极碰伤和损坏。

将电极送往接长工作台和电炉上安放时，是用金属接头