



GAOGONGLÜ DADIANJI

高 功 率 大 电 极

苏联国立电极工业科学研究设计院科学论文集

第

8

辑

兰州碳素厂研究所

高 功 率 大 电 极

苏联国立电极工业科学研究设计院科学论文集

第 8 辑

兰 州 碳 素 厂 研 究 所

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ И
УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОДНОЙ
ПРОДУКЦИИ

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

Выпуск 8

苏联国立电极工业科学研究设计院

编辑委员会

В.Г.ЗЕЛЕНКИН(总编辑)、Ю.И.БАРКОВ(副总编辑)、
М.С.ГОРПИНЕНКО、В.С.КОЛПАКОВ、Н.П.МОЛОТОК、
В.Т.РАСКОСТОВА、М.В.ПРОНЮШКИНА(出版负责人)、
А.Н.ТАТАРИНОВА(编辑)

车里雅宾斯克市 南乌拉尔印书局 1976年

高 压 电 极

苏联国立电极工业科学研究设计院文集(第8辑)

兰州炭素厂研究所

梁济博 译 梁济博 校 梁济博 审校

(内部发行)

兰州新华印刷厂印刷 1978年

译者说明

本书是苏联国立电极工业科学研究设计院编委会编辑出版的《科学论文集》第8辑（1976年）。

《科学论文集》于1969年出版第1辑，每年出版一辑，1972年以前，书名为《石墨化电极的技术与工艺》，自1973年起，改名为《电极生产工艺的改进和产品质量的提高》。每辑在内容上都各有侧重。第8辑中文版本，根据书中主要内容，定名为《高功率大电极》。

本辑内容着重解决大规格高功率石墨化电极生产工艺上一些急待解决的问题，同时也侧重于电极质量及其耐用度的提高，此外还收入了一些有关原料及产品改进的理论研究论文，对我国炭素厂及其他有关单位的科技人员或许有一定的参考价值。

《科学论文集》到1978年底为止，应出版第10辑了。现只试译出版其中的第8辑，仅供同志们参考和鉴别，看看对我国电极生产和科研能否有所裨益，如果同志们认为此书尚有可取之处，望提出意见和要求，我们将尽力而为，将其他各辑陆续译出。

原文书中的《内容提要》、《论文摘要》及个别论文中的政治论述及引语，在译文中已予删节，原文中技术歧意和排印错误较多，我们所能发现的，在译校过程中都作了修改，望读者阅课时还需注意。

译者水平有限，缺点和错误肯定不少，渴望提出批评意见。

一九七八年十月

目 录

第 一 编

研制高电流密度条件下工作的石墨化电极.....	(1)
高电流负载条件下工作的石墨化电极.....	(8)
影响特种电极质量及使用寿命的某些因素.....	(14)
提高石墨化电极接头的质量.....	(21)
大规格石墨化电极接头理想形状的选择.....	(32)
碳的过渡形式和过渡形式的石墨化.....	(38)
车里雅宾斯克电极厂电极石墨化过程的强化.....	(52)
罐式炉内碳材料煅烧与加热制度的关系.....	(59)
电极毛坯焙烧冷却制度的最优优化.....	(67)
降低巨型电极毛坯的电阻.....	(77)
石墨化炉无砂保温料的应用.....	(82)
焙烧炉自动化的可能性.....	(87)
各种石油焦制得的人造石墨的对比研究.....	(99)
原料的制备与石墨化材料的质量.....	(104)
提高直径555毫米电极的质量 指 标.....	(109)
化学活性剂对煤沥青各种组分热解的影响.....	(117)
电极沥青各种性能的工艺特性— α 组分的鼓胀性.....	(126)
以热解渣油制备的石油沥青充做电极粘结剂.....	(132)
石墨的热稳定性与其电导率各向异性之间的关系.....	(141)
生成碳化物的元素对石墨结构与性能的形成起催化作	

用的理论基础.....	(138)
-------------	-------

第 二 编

碳膏胶结能力的评定.....	(153)
碳质耐火材料耐二氧化碳侵蚀稳定性的测定.....	(158)
粘结剂的成分对焙烧碳制品的结构和性能的影响.....	(164)
各种碳材料的磨碎能力.....	(171)
ПРБ工业电阻炉.....	(177)

第 三 编

混捏压型车间工人劳动定额的改进.....	(182)
我国电极产品价格与世界市场价格的对比方法.....	(186)
产品鉴定.....	(190)

第 一 编

研制高电流密度条件下 工作的石墨化电极

М.Н.ДОРЖИЕВ, В.Г.ЗЕЛЕНКИН

我国第十个五年计划的主要任务之一就是尽量提高产品质量和生产效率。在过去第九个五年计划期间，石墨化材料潜在的优异性能在国民经济中未能得到充分利用，石墨化电极的需用量也未得到完全满足。因此，第十个五年计划为大力发展电极工业拟定了一些措施，以适应国民经济的需要〔1〕。计划中规定，大力提高石墨化电极的质量。

石墨化产品的世界年产量约 100 万吨：生产电炉钢、生铁、铁合金、人造刚玉、锌、铜用石墨化电极约 70 万吨；生产氯、氯酸盐、盐酸、镁、钠用石墨约 7 万吨；其他各种用途石墨近 8 万吨〔2、3〕。石墨化电极的主要消费者之一就是电炉炼钢工业。这就不仅要使现有的大容量电炉炼钢设备全部投产并强化炼钢过程，同时还要改造现有电极和提高电炉功率，来继续扩大电炉钢的生产。

无论外国还是苏联，电炉钢生产上技术改造的途径都不外是从提高电功率着手。要建造超高功率电炉，就必须制定

和掌握能在电流密度达 35安/厘米^2 条件下工作的、直径 $555\text{—}610$ 毫米石墨化电极（UHP电极或称特种电极）的生产工艺。目前，在大规格电极的总产量中，特种电极约占 15% 。但可预见其需用量能增加到 50% 。

只有正确地考虑到由原料一直到完善的工艺设备、仪器、机械，以及高度机械化和自动化的各工艺过程，才能卓有成效和及时地解决满足高质量石墨化电极需求的问题。

对石墨化电极，尤其是对大规格电极质量的现有水平，经过研究证明，国产电极同外国电极各项指标平均水平相比，差异并不大（表1），质量指标还是相当高的。这一成就的取得，就是因为从1972年起，所有的电极厂都切实采用了国立电极工业研究设计院制定的添加化学活性剂的电极生产工艺，改进了生产配方，制定并开始贯彻在焙烧初始阶段采取强化加热的先进制度，而且对石墨化进行了改造，即在使用交流电源的同时，还采用了直流电源，还改用了空气强制冷却炉底和炉壁，利用大功率的炉变压器。

最近几年来，在研制与使用现代的刀具和量具为石墨化电极机械加工方面也做了大量工作，这些工具都是统一为各工厂制造。

采取上述措施之后，国产电极的使用寿命得到了提高，这从对比实验的结果（表2）即可证实。石墨化电极质量提高，便可以通过增大设备功率和提高电极电流负载的方法，来强化电炉炼钢的过程。虽然在平均质量指标上达到了上述水平，但其中某几项指标，特别是对于大规格电极，还有不稳定现象。抗弯机械强度的波动范围可达 $60\text{—}80\text{公斤/厘米}^2$ ，抗拉强度波动可达 $50\text{—}60\text{公斤/厘米}^2$ 。此外，在使用过程

表 1 国产 $\phi 555$ 毫米石墨化电极
机械强度和比电阻的实际水平

工 厂	年·季 度	机械强度 (公斤/厘米 ²)			比 电 阻 (欧姆·毫米 ² /米)
		抗压	抗弯	抗拉	
车里雅宾斯克 电冶金公司	1974	179	71	34	7.5—10.5
	1975, 一季度	165	64	28	
车里雅宾斯克 电极厂	1975, 二季度	164	62	35	8.0—11.0
	1974	187	70	38	
	1975, 一季度	197	72	37	
新契尔克斯克 电极厂	1975, 二季度	206	75	45	8.0—11.0
	1974	163	70	33	
	1975, 一季度	163	83	32	
第聂伯电极厂	1975, 二季度	185	85	38	7.0—10.0
	1974	218	75	35	
	1975, 一季度	221	80	39	
	1975, 二季度	239	70	30	
昭和电极株式会社 (日本)	——	154	69	37	7.0—8.0
不列颠·艾奇逊公司 (英国)	——	141	70	35	7.0—9.0

中, 还有接头断裂的现象, 这说明在提高使用寿命上还有潜力可挖。如能消除此类破损现象, 电极单耗可平均降低 10%, 且可提高电炉的生产能力。

根据对国产电极和进口电极在一般电流负载和高电流负载条件下的质量特性和使用寿命的评定, 以及对直径 555 毫米电极在电流密度达 32 安/厘米²条件下的温度场理论计算的

表 2 国产与外国产石墨化电极对比实验结果

电极直径 (毫米)	制造厂家 (工厂、公司、国别)	电极单耗 (公斤/吨钢)
500	第 聂 伯 电 极 厂	5.0—5.5 (平均5.1)
508	瑞 典	6.5—7.2
508	日 本	5.2
400	第 聂 伯 电 极 厂	5.2—5.7 (平均5.2)
406	瑞 典	5.7
400	新 契 尔 克 斯 克 电 极 厂	7.5
406	瑞 典	7.5
406	西德(西格里公司)	7.4

评定结果,即可准确确定大规格石墨化电极的质量要求(表3)。这些要求比现行国家标准中规定的指标要高得多。电阻要求越低越好,以降低电耗损;强度以高为好,以抵抗撞击。由于炼钢过程中,电弧内产生热冲击,倒出钢水时又发生急剧冷却,所以低热膨胀系数就具有很大意义。

电极生产有这样一个独特的特点,即改变了某几个工艺参数之后,虽使一些指标有所改善,而却使另一些指标变坏。至于在压型工序制取高密度毛坯,以及制备低比电阻和高强度石墨的一些方法都已经明确,可是制取大规格毛坯(直径500—610毫米),在现有的工艺制度下,要想在焙烧和石墨化两道工序都能制成致密的毛坯,而且不产生废品,实际上是不可能的。如果使混合料配比的粒度增大,可以使电极的热稳定性达到预想程度,可是在强度上却受到了损失。用针状石油焦做原料,为改善石墨平行于挤压轴的物理

**表 3 用于高电流密条件下工作的 $\phi 555$ 毫米
的特种石墨化电极质量指标的计划水平**

技 术 要 求	按 国 家 标 准 4426-71	指标水平	国 外 对 比 指 标		
		1980年	昭和 电株 (日本)	西格里 公 司 (西德)	大湖炭素 公 司 (美国)
容重(克/厘米 ³)	——	1.60—1.70	1.58	1.55	1.57
气 孔 率(%)	——	26—28	29	30	25
比 电 阻 (欧姆·毫米 ² /米)	9.0—12.5	7.0—9.0	7.0—8.0	9.0	8.1
机 械 强 度 (公斤/厘米 ²)					
不小于:					
抗弯	65	85	70	60	105
抗压	150	200	250	200	——
热膨胀系数 (10 ⁻⁶ /°C) (100—900°C)	——	>2.0	1.3—2.5	——	1.17—1.35
20°C时的导热系数 (千卡/米 ² ·小时·°C)	——	80	95	100	100

机械特性和热物理特性创造了先决条件，从而也提高了石墨的使用寿命。若用煤沥青在热压釜内浸渍电极毛坯，对制取高机械强度和低比电阻的石墨化电极是很有功效的。提高石墨化度也可降低电极的电阻，并使其在长度和截面上的各种性能趋于均衡。

因此，实际上很难为制取高质量电极选定唯一有决定意义的工艺因素。所以在制定特种电极的生产工艺时，必须对选定设备，各种工艺因素的相互关系，以及石墨的结构和性能等问题，都作通盘考虑，来进行科学实验研究。根据以往的研

究证明，对碳石墨材料质量产生巨大影响的有多种因素，而且首要的就是原料的结构和性能。

最近几年来（70年代），在制取优质针状石油焦和以此为原料制备电极方面做了许多有成果的工作。鉴于这种新品种焦炭具有独特的优点，故必须指出，只有从工艺观点去合理利用石油焦，才能保证有效地提高电极石墨的质量。这就要对电极厂的电极生产工艺设备进行改革。

到目前为止，电极工业用的唯一粘结剂，仍然是煤沥青。至于采用石油基、页岩油基以及其他原料基的各种粘结剂的可能性，尚处于科学研制阶段。由于对高功率炼钢炉用电极的质量及其在大电流负载下使用上的要求不断提高，紧接着就尖锐地提出了提高电极沥青性能和质量的稳定性的问题。通过科学研究，对电极粘结剂的质量，制定并且科学地提出了一些要求。把根据族的组成所评定的化学成分来做为评定粘结剂粘结性能与增塑性能的判据的基础。考虑到电极厂沥青加工的几种可能方式，粘结剂的理想成分应该是：甲苯不溶物占24—28%；喹啉不溶物不超过6%。我们的研究和外国的经验都证明，最有前途的粘结剂就是高软化点的沥青。对此种沥青的质量要求，已经制定，并已发给焦化工行业。

电极厂在组织出产优质碳石墨制品中，除使用优质原料之外，还应解决有关提高生产技术的许多问题。因此凡是想要拟定和掌握更完善工艺设备的企业，都必须制订企业技术装备改造的各项计划。

因此，采用针状石油焦和高温沥青改善生产工艺，改进浸渍方法，改建工厂，以至设计和建设新的专业化工厂等

等，都是为解决提高质量和为大功率电炼钢炉研制新牌号的特种石墨化电极而提出的主要而关键性的问题。

参 考 文 献

1. Кралин Л. А. Пути ускорения развития электро-
дной промышленности. — «Цветные металлы» 1975,
№12, с. 8—9.

2. "Journal du Four Electrique" 1975, иб.

3 "Japan Chemical Week", 1975, иб, 12.

4. Зеленкин В. Г. и др.—В кн: Совершенствование
технологии улучшение качества электродной продук-
ции Сб. науч. тр. Гос НИИЭПа. Вып. 7. Челябинск, Ю-
жно-уральское кн. изд-во, 1975, с. 102.

高电流负载条件下工作的 石墨化电极

М. С. ГОРПИНЕНКО,
В. А. СМОЛЕНЦЕВА,
А. А. ПОПОВА, М. Н. ДОРЖИЕВ,
Б. М. КУЗИН, Е. Н. ШАБУРОВ

基于电炉炼钢生产的强化，便提出了组织生产比现有电极所承受的电流负载高一倍以上的大规格石墨化电极的任务。此种电极及其接头应具备高的电导率和热稳定性，而此特性基本上决定于生产电极的原料（石油焦）〔1—3〕。本文仅介绍某些因素对直径555毫米石墨化电极各种性能及其在17—20和23—26安/厘米²电流密度下的使用寿命的影响。

为了判定生产原料对电极性能和热稳定性的影响，分别以不同原料生产了两种直径555毫米的电极：一种是以蒸馏裂化渣油焦为原料；另一种是以普通的釜式焦（热解焦和热裂焦）与延迟焦的混合料为原料。两者的生产工艺相同。蒸馏裂化渣油石油焦同混合料中的石油焦的区别，就是它所含灰分杂质和硫分较少（渣油焦为0.36%，混合焦为0.59%），其组织结构较均质，具有更清晰整齐的织构，这就预先决定了

电极性能上的优越性。

以蒸馏裂化渣油石油焦为原料，使电极的平均比电阻降低到7.3—8.8，接头降低到5.8欧姆·毫米²/米，而用混合焦制备的电极，平均比电阻为9.1—10.5，接头为7.0欧姆·毫米²/米，而且优级品率也提高了，比电阻在9欧姆·毫米²/米以下的电极增加了30—40%（表1）。这一事实证明了裂化渣油石油焦比普通石油焦具有更高的石墨化性能。

第二批电极，石墨化中提高电能单耗10—11%，平均比电阻进一步降低了0.5欧姆·毫米²/米；并使比电阻9欧姆·毫米²/米以下的电极产量增加了12%。而把蒸馏裂化渣油石油焦制备的电极用焦油沥青加以浸渍，又大幅度提高了（0.5倍）电极的机械强度（表1）。

无论是蒸馏裂化渣油石油焦制备的电极，还是用普通石油焦混合料制备的电极，都是在100吨电弧炼钢炉，装备容量为25和32兆伏安的变压器，在电流密度为17—20和23—26安/厘米²的条件下进行实验的。电流密度的瞬时值在熔炼阶段达到28安/厘米²。实验的目的就是在电流负载高达65千安的条件下，对裂化渣油焦制备的电极的使用寿命和石油焦混合料制备的电极的使用寿命进行鉴别对比。在实验过程中评定了接头的质量和可靠性、电炼钢炉的电参数、熔炼制度和熔炼时间对电极单耗的影响。同时对断裂的原因、类型、数量和时间，以及裂纹形成和每吨钢的电极单耗，都作了记录并加以分析。

接头连接的质量根据电极衔接的间隙值来确定。实验证明，在使用中如果间隙不超过0.1毫米，接头就不会出现松扣现象，损坏次数不超过每炉0.08次，而电极单耗则不超过

表 1 $\phi 555$ 毫米石墨化电极及其接头毛坯的物理机械质量指标

制 品 类 别	假 比 重 Δk (克/厘米 ³)	气孔率 (%)	机械强度 (公斤/厘米 ²)			热稳 定性 (瓦)	热膨胀系数 (10 ⁻⁶ /°C)		比 电 阻 (平均) (欧姆·毫米 ² /米)	比电阻在9 欧姆·毫米 ² /米以下的极 电 (%)
			抗 压	抗 弯	抗 拉		于轴	⊥ 于轴		
焦炭混合料制 的电极 以蒸馏渣油焦 为原发料制的 电极： 第一批 第二批 用焦油沥青 浸渍的 用焦炭混合料 制备并用焦油 沥青两次浸渍 的接头 用蒸馏渣油 蒸发制备并 用焦油沥青两 次浸渍的接头	1.590	28.00	163	61	27	3494	2.3	33.4	9.1	53
	1.560	28.9	163	69	30	4238	1.9	2.8	8.8	84
	1.596	28.1	198	72	36	4170	2.1	2.3	8.3	97
	1.690	23.9	338	162	71	4809	2.2	2.7	7.5	—
	1.736	21.4	339	167	74	5424	2.5	3.0	7.0	—
	1.754	20.2	314	177	54	5939	1.8	2.9	5.8	—

7.5—8.0公斤/吨钢。如因接头连接质量不良而使衔接间隙增大到0.5毫米,或者熔炼制度上的偏差(尤其是正偏差),便会使每炉的破损次数增加4—5倍,使电极单耗增加到11.6公斤/吨钢(表2)。

表2 在实验过程中熔炼电气制度的偏差与电极单耗

电极衔接间隙 值 (毫米)	偏差(以有效功率表的计数为单位)				每炉损坏 次数	每吨钢的 电极单耗 (公斤)
	电极第一 转之前	电极第二 转之前	塌料 之前	转换到五 级之前		
	一 级					
0.5以下	+5.6	+5.2	+2.0	+2.0	0.38	11.6
不大于0.08	+4.0	+1.3	-0.6	+5.0	0.08	7.5
	三 级		一 级			
不大于0.08	+4.4	+4.06	-0.2	-0.1	0.28	—

此外,在第一调节级熔炼时,炼钢炉的耐火砖砌体会很快损坏。根据这一原因,又对第二批裂化渣油石油焦制备的一部分电极在第三调节级进行熔炼实验,在塌料之后,又转换到第一调节级进行实验。此周期的损坏次数也是增加到每炉0.28次(表2)。在熔炼电气制度上产生正的偏差,尤其是此偏差产生在电极第一转和第二转之前,会导致碰料及电极破损,此种破损可占总破损数的50%。所以,在大电流负载下进行熔炼,严格遵守电气制度是较为重要的因素。

接头连接的可靠性对电极的使用寿命有很大影响,此可

• 碰料——熔炼中未熔化的钢料碰撞到电极上。这种现象暂译为碰料。——校者注