

DIANJIHU DE SHENGCHAN
YU YINGYONG

电极糊的生产 与应用

中国电石工业协会
兰州阳光炭素集团公司 组织编写
海秉良 主编



化学工业出版社

DIANJIHU DE SHENGCHANG
YU YINGYONG

电极糊的生产 与应用

中国电石工业协会
兰州阳光炭素集团公司 组织编写
海秉良 主编

 化学工业出版社
· 北 京 ·

电极糊是生产铁合金、电石的必备原料,本书主要介绍电极糊产品的原料、生产工艺流程和检测方法,并重点介绍了电极糊在电石和铁合金矿热电炉上使用的注意事项。

本书内容实用性强,对电极事故的预防与事故的分析处理有一定的借鉴意义,可供炭素材料尤其是电极糊的研发和生产技术人员,铁合金和电石行业的生产操作人员、技术人员和管理人员参考,也可作为以上行业销售人员和采购人员技术交流的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电极糊的生产与应用/中国电石工业协会,兰州阳光炭素集团公司组织编写;海秉良主编. —北京:化学工业出版社,2015.6

ISBN 978-7-122-23607-4

I. ①电… II. ①中… ②兰… ③海… III. ①电极糊-生产工艺 ②电极糊-应用 IV. ①TM242

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 072240 号

责任编辑:傅聪智

装帧设计:刘丽华

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印刷:北京永鑫印刷有限责任公司

装订:三河市宇新装订厂

850mm×1168mm 1/32 印张6¼ 字数174千字

2015年7月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价: 38.00 元

版权所有 违者必究

本书编写人员

主 编：海秉良

编写人员：海秉良 夏金童 黄永寿

海秉龙 呼友明



序

进入 21 世纪,我国电石行业在聚氯乙烯、醋酸乙烯、1,4-丁二醇等下游行业发展的带动下,电石产能迅速增长。2000 年,我国电石产能仅 480 万吨,产量为 340 万吨。10 年过后的 2010 年产能已达到 2250 万吨,产量达到 1650 万吨,产能、产量分别是 2000 年的 4.7 倍和 4.8 倍。“十二五”期间,随着为大型氯碱装置配套建设的电石项目的大量上马,电石产能再次进入飞速增长期。据中国电石工业协会统计,2014 年国内电石产能达到 4183 万吨,产量达到 2628 万吨,与 2010 年相比产能增长将近 1.9 倍,产量增长了 1.6 倍。

在电石产量满足下游需要的同时,电石行业的技术装备水平也持续得以提升,目前技术装备水平高、节能环保效果显著的国产密闭式电石炉已成为行业的发展主流。2005 年以前,密闭式电石炉基本上都是引进的,通过设计制造单位对引进的 25.5MVA 密闭式电石炉的消化吸收和再创新,自主开发了 27MVA、33MVA、40.5MVA 等多种炉型的密闭式电石炉,且技术日益成熟,目前行业基本形成了以 40.5MVA 密闭电石炉为主力炉型的设计制造发展格局。“十一五”时期,新建企业大多采用 25.5MVA、33MVA 的密闭式电石炉,2009 年大连重工开发的 40.5MVA 的密闭式电石炉在新疆天业建成投产,揭开了我国发展大型密闭式电石炉的序幕。“十二五”时期,新建企业大多采用 40.5MVA 密闭式电石炉,引进的 81MVA 密闭式电石炉也建成投产。到 2014 年底,密闭式电石炉产能达到 3106 万

吨/年,占总产能的比重由2005年的不足10%提升至目前的74.2%,内燃式电石炉比重下降至不足26%。密闭电石炉特别是大型密闭电石炉的研发成功,改变了电石生产环境脏、乱、差的局面,取而代之的是环境整洁的花园式工厂。

密闭电石炉的发展,离不开电极糊质量的日益提升。电极糊是各类矿热电炉制造自焙电极的原料,在电石行业的各种炉型中广泛应用。电极作为电石炉的心脏,管理和操作的好坏直接关系到电石炉能否正常生产,是提高电石炉运转率及产量、降低各种消耗指标的关键所在。电极糊的质量决定着电石炉自焙电极的质量,电极糊烧结质量的好坏又决定了电极能否安全稳定运行。电极糊生产企业积极不断研发出适合不同电石炉炉型使用的电极糊,推进了密闭电石炉的大型化,有力地支持了密闭电石炉的技术升级。

为了帮助电石生产企业更好地了解和正确使用电极糊,中国电石工业协会和兰州阳光炭素集团公司组织编写了《电极糊的生产与应用》一书,此书的编者调研了大量电石及铁合金生产企业,掌握了大量的第一手资料,对行业所积累的经验资料进行了总结分析,并结合兰州阳光炭素集团公司电极糊的研发、生产和使用,编写成此书。此书用通俗的语言,介绍了电极糊的原料和生产工艺,重点是告诉大家在矿热电炉上如何正确地使用电极糊。希望此书能为电石生产企业规范使用电极糊、提高生产管理人员和操作人员的水平、减少因电极事故造成的经济损失提供帮助。

借此机会,我代表中国电石工业协会向编者和兰州阳光炭素集团公司为行业技术进步所做的贡献表示由衷的感谢。

中国电石工业协会秘书长 孙伟善

2015年4月16日

前言

“十一五”以来，随着我国经济发展和市场需求的快速增长，钢铁、水泥、玻璃、PVC 等基础产业飞速发展，铁合金、电石产能也稳步提升。电极糊作为生产铁合金、电石的必备原料，跟随着铁合金、电石行业的发展不断进步，目前，我国已经成为全世界最大的电极糊生产、消费国。

随着铁合金、电石行业的飞速发展，电极糊行业也应该积极探索电极糊产品的原料、配方、生产及工艺流程，使电极糊产品进一步发展。为了适应铁合金、电石行业的发展，电极糊行业技术人员应加大与铁合金、电石行业技术人员的沟通交流，共同促进技术进步，使市场上现存的各类矿热电炉，都有与之相匹配的电极糊产品。

但是，从目前电极糊行业整体情况看，其生产、使用各方面并没有跟上铁合金、电石行业发展的步伐，没有及时地制订出新的工艺、新的操作方法。电极糊用户参考现行的 20 世纪的电极糊质量标准采购电极糊，有可能导致与实际情况脱节，出现采购指标正常但实际使用效果不好，或者实际使用效果好但检测指标又不合格的局面。这样技术上的脱节可能对矿热电炉正常生产造成不必要的损失与麻烦。

电极糊产品作为矿热电炉生产使用的重要原料，了解电极糊的生产工艺和使用方法并规范操作是矿热电炉生产管理人员和操作人员必备的技术素质。为了提高行业整体操作水平，避免错误的操作而影响电极正常使用，减少因电极事故造成的经济损失，笔者调

研了大量铁合金及电石生产企业,总结分析了行业内众多专家所积累的经验,在此基础上编写成本书,借此机会,向行业内众多前辈表示由衷的感谢。

本书主要介绍电极糊产品的原料、生产工艺流程、检测方法以及电极糊在电石与铁合金矿热电炉上使用的注意事项。由于笔者能力有限,书中可能存在不足,恳请读者和行业同仁批评指正。

编 者

2015年3月

目录

第1章 电极糊概述

1

- 1.1 碳元素 /1
- 1.2 炭素材料 /2
 - 1.2.1 炭素材料的物理性质 /3
 - 1.2.2 炭素材料的力学性质 /4
 - 1.2.3 炭素材料的热学性质 /5
 - 1.2.4 炭素材料的电学性质 /5
 - 1.2.5 炭素材料的化学性质 /6
- 1.3 炭素材料的分类 /7
- 1.4 主要炭素材料简介 /9
 - 1.4.1 炭电极 /9
 - 1.4.2 炭阳极 /9
 - 1.4.3 炭块和炭砖 /10
 - 1.4.4 炭棒 /10
 - 1.4.5 石墨制品 /11
 - 1.4.6 炭糊 /13
- 1.5 电极糊 /14
 - 1.5.1 电极糊简述 /14
 - 1.5.2 电极糊的质量标准 /16

第2章 电极糊的制备原料

20

- 2.1 主要固体炭质原料简介 /21

2.2 电极糊生产用固体原料 /23

2.2.1 石油焦 /23

2.2.2 沥青焦 /27

2.2.3 残极 /29

2.2.4 冶金焦 /29

2.2.5 无烟煤 /31

2.2.6 天然石墨 /33

2.2.7 石墨碎 /36

2.2.8 生碎 /36

2.3 电极糊生产用黏结剂 /37

2.3.1 煤沥青 /39

2.3.2 葱油 /42

第3章 电极糊的生产工艺及主要设备

43

3.1 原料及设备的基本要求 /44

3.2 原料的预处理及煅烧 /44

3.2.1 煅后石油焦 /46

3.2.2 煅后无烟煤 /47

3.3 原料的破碎与筛分 /48

3.4 炭素原料的磨粉 /49

3.4.1 超细粉体的制备方法 /50

3.4.2 普通卧式球磨机结构及其工作原理 /50

3.4.3 影响球磨机粉碎效果的因素分析 /52

3.5 产品配方的制定 /54

3.5.1 配料与称量 /56

3.5.2 适用原料的选择 /56

- 3.5.3 粉体混合与粒度组成的确定 /57
- 3.5.4 黏结剂用量的确定 /62
- 3.5.5 生产返回料的利用 /64
- 3.6 产品的混捏工艺 /65
 - 3.6.1 混合、混捏的概念、目的及方法分类 /65
 - 3.6.2 混合的机理及设备要求 /66
 - 3.6.3 固体颗粒与黏结剂的相互作用机理 /68
 - 3.6.4 主要混捏设备 /71
 - 3.6.5 影响混捏质量的因素 /74
- 3.7 产品的成型工艺 /76
 - 3.7.1 成型机理及主要方法 /76
 - 3.7.2 模压成型 /78
 - 3.7.3 弹性后效及其防止 /80
 - 3.7.4 电极糊产品的成型特点 /83
- 3.8 产品的焙烧工艺 /84
 - 3.8.1 焙烧的定义和目的 /84
 - 3.8.2 焙烧过程的主要阶段 /85
 - 3.8.3 焙烧时黏结剂的迁移及黏结焦的形成 /86
 - 3.8.4 生制品在焙烧阶段的变化 /88
 - 3.8.5 影响焙烧制品质量的因素 /89

第4章

电极糊的质量标准及检测方法

93

- 4.1 电极糊的现行行业标准及新标准 /93
- 4.2 电极糊各项指标的检测方法 /95
- 4.3 电极糊取样制样的方法 /96
- 4.4 电极糊灰分含量测定方法 /97

- 4.5 电极糊挥发分的测定 /98
- 4.6 电极糊内在水分测定 /99
- 4.7 电极糊检测试样焙烧方法 /100
- 4.8 电极糊的耐压强度测定方法 /101
- 4.9 电极糊电阻率测定方法 /102
- 4.10 电极糊体积密度测定方法 /104
- 4.11 电极糊延伸率试验方法 /104

第5章

电极糊的生产安全及环境保护

107

- 5.1 安全生产总则 /107
- 5.2 安全操作总则 /108
- 5.3 安全生产投入管理制度 /110
- 5.4 应急预案实施步骤 /115
 - 5.4.1 火灾 /115
 - 5.4.2 爆炸 /116
 - 5.4.3 地震 /116
 - 5.4.4 天然气泄漏 /116
 - 5.4.5 触电、烧伤、高空坠落、物体打击、坍塌等 /117
- 5.5 环境保护 /118
 - 5.5.1 粉尘和烟气的特性及危害 /118
 - 5.5.2 粉尘与烟气处理的重要性 /119
 - 5.5.3 粉尘与烟气的治理措施 /119

第6章

电极糊产品在电石行业的应用

121

- 6.1 电石产业的发展 /121
- 6.2 电石产品简介 /123
- 6.3 电石生产原理及理论消耗 /128

- 6.4 电石炉参数计算及讨论 /131
- 6.5 电极糊在电石炉上的焙烧与消耗 /132
 - 6.5.1 电极糊的焙烧 /133
 - 6.5.2 电极糊烧结过程中物理化学性质的变化 /135
 - 6.5.3 影响电极烧结、消耗速度的因素 /136
- 6.6 电极糊的使用管理 /139
 - 6.6.1 电极糊岗位的操作管理 /140
 - 6.6.2 电极筒的制作和对接 /141
 - 6.6.3 电极糊的添加和电极糊柱的控制 /143
 - 6.6.4 电极压放量和消耗量的控制 /144
 - 6.6.5 停炉时自焙电极的维护保养 /145
 - 6.6.6 电石炉的开炉 /147
- 6.7 电石炉各种电极事故原因分析、预防及处理方法 /150
 - 6.7.1 电极硬断的原因及预防处理 /151
 - 6.7.2 电极漏糊的原因及预防处理 /154
 - 6.7.3 电极软断的原因及预防处理 /157
 - 6.7.4 电极悬糊的原因及预防处理 /157
 - 6.7.5 电极压放困难的原因及预防处理 /158
 - 6.7.6 电极过烧的原因及预防处理 /159
 - 6.7.7 电极消耗过快的原因及预防处理 /161
- 6.8 电极糊在电石炉的使用建议 /163

第7章 电极糊产品在铁合金行业的应用

166

- 7.1 铁合金概述 /166
- 7.2 铁合金冶炼的基本原理 /170
- 7.3 矿热炉主要机械设备 /173

- 7.4 矿热炉的电气工作参数 /174
- 7.5 电极糊在铁合金炉上的焙烧与消耗 /176
- 7.6 电极糊的使用管理 /177
- 7.7 电极糊在铁合金矿热电炉的应用实例 /181
 - 7.7.1 电极硬断案例 /183
 - 7.7.2 电极漏糊和软断案例 /184
 - 7.7.3 电极悬糊案例 /185
 - 7.7.4 电极压放困难案例 /185
 - 7.7.5 电极过烧案例 /185
 - 7.7.6 电极消耗过快案例 /185

参考文献

第1章

电极糊概述

电极糊属于无机非金属炭素材料中的一种产品，广泛应用于各类矿热电炉作为自焙电极原材料，是铁合金和电石行业生产中必不可少的一种基础原料。要了解电极糊生产和使用过程中的各项性能，在矿热电炉中形态变化的反应机理以及如何科学有效地使用电极糊产品，首先要了解构成电极糊的主要元素——碳元素及炭素材料的性能。

1.1 碳元素

在整个宇宙中，碳的丰度列第6位，已知的星际分子中超过75%含有碳，地球上碳的丰度列第14位，90%的碳以碳酸钙的形式存在。同时，碳是地球生命的基础，存在于所有动植物中，它们的腐化、分解形成富含碳元素的物质，如天然气、石油、泥炭、煤、合金碳等。地球上天然单质碳存在于金刚石、石墨、无烟煤中，但是天然优质金刚石、石墨非常少，大量的碳制品是人工合成的。

到目前为止，已经发现碳有四种晶形，即金刚石、石墨、炔炭和富勒烯（或称巴基球）。

石墨结构是由 sp^2 杂化轨道形成的，即1个2s电子和2个2p电子杂化形成等价的杂化轨道，位于同一平面上，交角为 120° ，它们相互结合形成 σ 键，而1个未参加杂化的2p电子则垂直于平面，形成 π 键，由此构成石墨的六角平面网状结构，以平行于基面的方向堆砌。具有理想石墨晶体结构的巨大石墨单晶是不存在的，即使从天然鳞片

石墨中精选出来的单晶，其尺寸也仅几毫米。但它作为一个科学模型，对炭素材料来说具有重要的指导意义。

对于绝大多数炭素材料来说，它们不具备如理想石墨那样的三维有序结构，它们的六角网状平面很不完整，存在空洞、位错、边缘含杂原子以及杂质夹杂等缺陷，它们连接成波浪形层面，近似平行地堆积，这就是乱层结构。这些乱层结构堆积的层片数少，层间距也比理想石墨大。它们没有宏观晶体的性质，但在微细的区域内，其基体还是有一定的有序排列，这些微细结构称为微晶。

根据微晶的聚集状态，可以有两种典型的结构，如图 1-1 所示。图 1-1 (a) 中的微晶定向性较好，微晶间交叉连接较少，为可石墨化炭（或称易石墨化炭）。它在进一步热处理时可转化为石墨炭。图 1-1 (b) 中微晶定向差，微晶间交叉连接，有许多空隙，即使经高温热处理，也不可能成为石墨炭，故称为难石墨化炭（或称不可石墨化炭）。

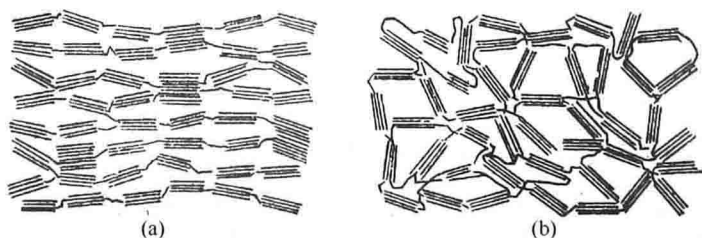


图 1-1 乱层结构示意图

1.2 炭素材料

要明确炭素材料，这首先要明确“炭”和“碳”是什么。碳——就是化学元素 C。凡是与碳元素、碳原子有关的词语，一律用带有石字旁的“碳”字，如碳同位素、碳化物、二氧化碳、碳化硅等。炭——含有碳元素为主 ($C/H > 10$) 的固体物质或材料。凡是与炭石墨材料有关的词语，一律不用带有石字旁的“炭”，如木炭、煤炭、焦炭、活性炭、炭块、炭黑、炭石墨材料、炭素工艺等。

炭素材料的主要性质包括物理性质（如密度、气孔结构等），化学性质（如耐腐蚀、抗氧化等），力学性质（如软、硬、塑性加工等），热学性质（如热膨胀系数、热导率等），电学性质（如导体、绝缘体等），磁学性质（如抗磁性、顺磁性等），表面性质（如润湿性、耐磨性等），光学性质（如透明、不透明、半透明等）等。

1.2.1 炭素材料的物理性质

（1）密度 密度分为：真密度、体积密度和堆积密度。

真密度——不包括气孔和裂隙在内的单位容积实体炭素材料的质量。

体积密度——包括气孔和裂隙在内的单位容积炭素材料的质量。

堆积密度——一定粒级的颗粒料的单位体积堆体的质量。

（2）气孔结构 炭素材料的气孔可分为开气孔、闭气孔、贯通气孔；按其尺寸又可分为微孔（ $<2\text{nm}$ ）、过渡孔（ $2\sim 50\text{nm}$ ）和大孔（ $>50\text{nm}$ ）。炭素材料的气孔结构应以多种参数综合描述，如气孔率、孔径及其分布、比表面积等。

① 气孔率 气孔率是试样中气孔体积占试样总体积的百分率。炭素材料的全气孔率可以用真密度和体积密度来计算，如下式：

$$P_t = (D_t - D_u) / D_t \times 100\%$$

式中 P_t ——全气孔率，%；

D_t, D_u ——真密度和体积密度， g/cm^3 。

② 孔径及其分布 炭素材料中的气孔一般不是球状气孔，而是不规则的，此时孔径是指与不规则气孔具有相同体积的球形气孔直径。

有时也取与不规则气孔具有相同体积的圆柱形气孔的底面半径作为平均孔半径。平均孔径有时还不足以描述孔的特征，通常还需要知道孔径分布，孔径分布通常用分布函数来表示。

③ 比表面积 材料所具有的总表面积称为比表面积。比表面积在某种程度上反映了材料可与外界接触的面积，对许多材料来说是一个十分重要的参数。比表面积一般用气体吸附法测定。

（3）气体渗透率 炭素材料为多孔材料，所以在一定压力下，气