

中等专业学校教学用书

电 極 生 产

Е. Ф. 查雷赫 著

沈阳有色冶金设计院翻译科 译

冶金工业出版社

593

中等專業學校教學用書

電 極 生 產

E.Φ. 查雷赫 著

沈陽有色冶金設計院翻譯科 譯

冶 金 工 業 出 版 社

本書系根据苏联国立黑色及有色冶金科技書籍出版社出版的查雷赫著“电極生产”1954年版譯出。原書經苏联有色冶金工業部教育司审定为有色冶金中等專業学校教学参考書。

書中闡述了生产电極制品的理論与实际問題。对于电極生产的流程，所采用的材料，各种材料的处理方法，炭素电極及石墨化电極的制造工艺，以及生产設備等都有所說明。本書除了作为有色冶金中等專業学校的教学参考書外，亦可供电極生产企業中的工程技術人員及中級技術人員参考。

Е.Ф. Чагын

ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕКТРОДОВ

Металлургиздат (Москва 1954)

电極生产

沈陽有色冶金設計院翻譯科 譯

編輯：王瑞宜、李建國 設計：魯芝芳、童煦菴 責任校对：夏其五

1958年4月第一版

1958年12月北京第二次印刷3,000册(累計4,000册)

850×1163·1/32·153,800字·印張10·定价(10)1.70元

北京三五五工厂印刷

新华書店發行

选题号56—68

書号0779

冶金工业出版社出版(地址：北京市灯市口甲45号)

北京市書刊出版业營業許可証出字第093号

目 录

第一章 电极制品及其生产流程

电极制品的性质及其应用	6
电极的生产流程	18

第二章 电极生产的主要材料

固体炭素材料	22
无烟煤	22
热力无烟煤	24
焦炭	27
石墨	36
粘结剂	37
煤焦油	27
煤沥青	40

第三章 炭素材料的煅烧

总论	43
煅烧爐	51
悬挂电极的开口式电爐	52
平放电极的密闭式电爐	56
竖放电极的密闭式电爐	58
迴轉式煅烧爐	60
按順流原理进行操作的罐式爐	68

第四章 炭素材料的粉碎和篩分

破碎与磨碎机械的分类	84
顎式破碎机	85
輥式破碎机	91
鏈式破碎机	95
球磨机	99

L 03838

磨料的篩分	109
尊筒篩	109
平板式搖動篩	111
振動篩	112
篩 網	117

第五章 生产配料方的編制

編制配料方的原理	124
散粒材料的选择	126
粒度成分的选择	128
粘結剂的选择	131

第六章 配料和混捏

配料	133
混捏	134
臥式双軸混捏机	136
用碾压机处理糊料	141
糊料的运输和成型	143

第七章 电極压型

压型原理	147
水压机	151
死模压力机	153
挤压式水压机	158
水压机的輔助设备	182

第八章 电極的焙燒

焙燒的理論基础	200
填充料	203
焙燒电極制品用的爐子	205
馬弗爐	205
活动爐頂的馬弗爐	206
多室环式爐	208
隧道爐	220

电 爐	241
-----------	-----

第九章 电極的石墨化

石墨化的理論基础	251
石墨化爐	256
石墨化爐的操作	263
爐子的供电	272
石墨化爐的母綫裝置	278
石墨化爐的电气平衡	281
石墨化爐的物料平衡和热平衡	282
石墨化爐車間內的爐子配置	284

第十章 电極制品的机械加工

总論	287
表面的加工方法	295
加工机床	297
附录	306

503

中等專業學校教學用書

電 極 生 產

E.Φ. 查雷赫 著

沈陽有色冶金設計院翻譯科 譯

冶 金 工 業 出 版 社

本書系根据苏联国立黑色及有色冶金科技書籍出版社出版的查雷赫著“电極生产”1954年版譯出。原書經苏联有色冶金工業部教育司审定为有色冶金中等專業学校教学参考書。

書中闡述了生产电極制品的理論与实际問題。对于电極生产的流程，所采用的材料，各种材料的处理方法，炭素电極及石墨化电極的制造工艺，以及生产设备等都有所說明。本書除了作为有色冶金中等專業学校的教学参考書外，亦可供电極生产企業中的工程技術人員及中級技術人員参考。

Е.Ф. Чагых

ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕКТРОДОВ

Металлургиздат (Москва 1954)

电極生产

沈陽有色冶金設計院翻譯科 譯

編輯：王瑞宜、李建國 設計：魯芝芳、童熙菴 責任校對：夏其五

1958年4月第一版

1958年12月北京第二次印刷3,000冊(累計4,000冊)

850×1168·1/32·153,800字·印張10·定價(10)1.70元

北京五三五工厂印刷

新华書店發行

选题号56—68

書号0779

冶金工业出版社出版(地址：北京市灯市口甲45号)

北京市書刊出版业營業許可証出字第093号

目 录

第一章 电极制品及其生产流程

电极制品的性质及其应用	6
电极的生产流程	18

第二章 电极生产的主要材料

固体炭素材料	22
无烟煤	22
热力无烟煤	24
焦炭	27
石墨	36
粘结剂	37
煤焦油	27
煤沥青	40

第三章 炭素材料的煅烧

总论	43
煅烧爐	51
悬挂电极的开口式电爐	52
平放电极的密闭式电爐	56
竖放电极的密闭式电爐	58
迴轉式煅燒爐	60
按順流原理进行操作的罐式爐	68

第四章 炭素材料的粉碎和篩分

破碎与磨碎机械的分类	84
顎式破碎机	85
輥式破碎机	91
鏈式破碎机	95
球磨机	99

03838

磨料的篩分	109
尊筒篩	109
平板式搖動篩	111
振動篩	112
篩 網	117

第五章 生产配料方的編制

編制配料方的原理	124
散粒材料的选择	126
粒度成分的选择	128
粘結剂的选择	131

第六章 配料和混捏

配料	133
混捏	134
臥式双軸混捏机	136
用碾压机处理糊料	141
糊料的运输和成型	143

第七章 电極压型

压型原理	147
水压机	151
死模压力机	153
挤压式水压机	158
水压机的輔助設備	182

第八章 电極的焙燒

焙燒的理論基础	200
填充料	203
焙燒电極制品用的爐子	205
馬弗爐	205
活动爐頂的馬弗爐	206
多室环式爐	208
隧道爐	220

电 爐	241
-----------	-----

第九章 电極的石墨化

石墨化的理論基础	251
石墨化爐	256
石墨化爐的操作	263
爐子的供电	272
石墨化爐的母綫裝置	278
石墨化爐的电气平衡	281
石墨化爐的物料平衡和热平衡	282
石墨化爐車間內的爐子配置	284

第十章 电極制品的机械加工

总論	287
表面的加工方法	295
加工机床	297
附录	306

第一章 電極製品及其生產流程

電極製品的性質及其應用

廣義而言，電極是一種導體端頭，它的用途是把電流導入進行電熱過程或電化學過程的各種機組或設備的工作空間內。

電極可由各種導電材料製成，例如：鐵、煤、水銀等。本書內僅研討由炭素材料製成的電極製品。

為了研究與電極生產工藝及其實際應用有關的十分複雜的綜合問題，必須把電極製品加以分類。

按使用電極的工業部門來分類是很普遍的，如電爐煉鋼用的電極，電解煉鋁用的陽極，食鹽電解用的陽極，鋁電解槽用的內襯等。

但是，這種分類，並不能使我們得到關於電極的性質及其生產工藝條件的明確概念。以生產工藝條件及製造電極所需原料為分類的基础是最合理的。

由上述原則出發，所有電極製品可分成四類：

- 1) 炭素電極；
- 2) 焦炭電極；
- 3) 石墨電極；
- 4) 石墨化電極。

用無煙煤作為主要原料而製成的電極，叫做炭素電極（表1）。這種電極的特点是灰份多、電阻大及導熱係數小。

焦炭電極（表1）是由低灰份的焦炭製成的，其特点是灰份少（1%以下）、電阻大及導熱係數小。

石墨電極是由天然石墨及人造石墨製成的。這種電極在有巨大的石墨產地及缺少優質無煙煤產地時多採用之。在蘇聯根本不生產這種電極。

石墨化電極（表1）是用低灰份的焦炭做原料，置於石墨化

爐內，在高于 2000° 的溫度下，經過特殊熱處理而制成的。這類製品灰份少，並具有很大的導電系數和導熱系數。

電極工業除了生產電極外，還製造各種炭素糊。

表 1

電極的基本性能

指 標	炭素電極	焦炭電極	石墨化電極
灰份 (%)	4—8	0.25—1.00	0.1—1.5
假比重 (克/厘米 ³)	1.48—1.65	1.40—1.67	1.50—1.70
真比重 (克/厘米 ³)	1.90—2.05	1.98—2.10	2.20—2.24
氣孔率 (%)	20—22	24—26	23—30
電阻率 (歐姆·毫米 ² /米)	35—55	50—70	8—12
機械強度 (公斤/厘米 ²)			
抗壓強度	200—450	250—500	200—350
抗張強度	65—200	150—300	150—280
抗彎強度	30—80	50—100	50—100
導熱系數 (卡/厘米·秒· $^{\circ}\text{C}$)	0.0093—0.320 (于 $175-675^{\circ}\text{C}$) 由 3.5×10^{-6} 到	0.0086—0.016 (于 $175-675^{\circ}\text{C}$) 由 1.6×10^{-6} 到	0.178 (于 $150-200^{\circ}\text{C}$)
熱膨脹系數	1.0×10^{-5} (于 $0-100^{\circ}\text{C}$)	4.5×10^{-6} (于 $20-500^{\circ}\text{C}$)	2.6×10^{-6} (于 $20-500^{\circ}\text{C}$)
在 $40-90^{\circ}\text{C}$ 時的比熱 (卡/克· $^{\circ}\text{C}$)	0.47	0.314	0.324

各種炭素糊根據原料不同分為煤炭糊與焦炭糊兩種：由無煙煤制成的為煤炭糊，由低灰份的焦炭制成的則為焦炭糊。

按化學成分來講，電極應當是純碳的，但實際上是不能的，因為自然界中絕對的純炭素材料是不存在的。但必須儘可能使生成灰份的礦物雜質最少。

如表 1 所示，含灰份雜質最多的為炭素電極。它們的灰份取決于原料（主要是無煙煤）的純度。構成炭素電極灰份的還有：二氧化矽、氧化鐵、氧化鋁、氧化鈣及氧化鎂。

焦炭電極灰份的組成也取決于原料，其主要灰份是氧化鐵和二氧化矽。

石墨化電極的灰份是由碳化矽，二氧化矽及氧化鋁組成的。

表 1 所列的平均數據可在工程計算中採用，而不致有重大的

錯誤。但根据電極尺寸工艺条件及原料的不同，这些数值可能有所变动。

炭素電極及石墨化電極的导热系数与温度的关系如图1所示。炭素電極的导热系数随着温度的升高而增大，但石墨化電極的导热系数却减小。当生产方法及電極成份改变时，这种关系也可能稍有改变。

煤和焦炭的导热系数都低。但某几种石墨在結晶解理方向上的导热性能如金屬一样良好。所以由这几种石墨制成的電極，虽然不免有气孔，但其导热性能还超过某些金屬。如果把各种不同的煤与石墨混合使用，則可得到煤与石墨导热系数之間的所有其余的中間值。

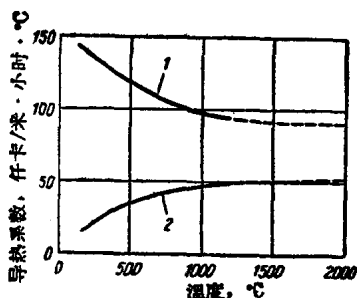


圖 1 炭素電極及石墨化電極的导热系数与温度的关系

1—石墨化電極；2—炭素電極

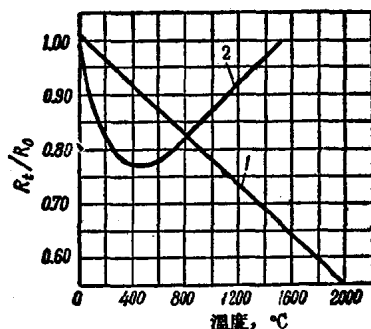


圖 2 電極的电阻与温度的关系

1—炭素電極；2—石墨化電極

炭素電極和石墨化電極的电阻与温度的关系如图2所示。炭素電極的电阻随着温度的增高而逐漸下降。石墨化電極的电阻与温度的关系，在400—500°C以下时和炭素電極相似；但温度繼續增高，石墨化電極的电阻就随着升高。

在制鋁、鎂、鋼、鉄合金、灰生鉄及可鍛生鉄、有色金屬、碳化鈣、氯和苛性鈉、金屬鈉、磷和磷酸、金剛砂等，皆使用電極。電極产品的最大用戶为制鋁及电爐煉鋼工業。

制鋁工業不僅需要大量經過壓型和焙燒的制品，而且需要大量的各種電極糊。這樣的需要量是由于制鋁時電極制品的消耗量大（每噸鋁需要600—650公斤）。電極在這時不僅充作電導體，而且參與化學或電化學過程。

經過壓型焙燒的陽極是各種尺寸的稜形塊狀物，帶有觸點接頭槽，以便澆入生鐵，借此將電流導入陽極。

焦炭糊，即通常所說的陽極糊，被用作連續自焙陽極。目前，連續自焙陽極幾乎完全代替了壓型焙燒的陽極。因為它有下列優點：

- 1) 免去了昂貴的壓型和焙燒工序；
- 2) 消除了佔壓型陽極重量15—20%的陽極殘頭；
- 3) 提高了電解槽等設備的熱效率。

當陽極在電解過程中燃燒時，陽極材料內含有的礦物雜質（灰份）即落到電解槽內，因而會弄髒電解所得的鋁。因此對於製造陽極及陽極糊用的炭素材料的純度提出的要求很高。

制鋁工業也是電解槽炭塊的消費者。這些炭塊用作電解槽槽底的內襯（陰極），因此叫做底塊。底塊為稜形體，根據裝配方法和槽底結構的不同，底塊按不同的規格制成。底塊的一個平面上做出一個凹槽，以使用生鐵澆鑄導電鋼棒。由於底塊磨損不大，灰份可以允許達5—6%（附錄2）。

電解槽槽膛的內襯採用炭板（側炭塊），對側炭塊的要求與底炭塊同。

安裝電解槽時，鋪槽底和修縫採用底糊。底糊的成分與炭素糊很相近，差別是含有少量粘結劑。

電爐煉鋼工業使用炭素電極及石墨化電極。該工業部門對電極質量的要求見ГОСТ 4425—48和4426—48（附錄3和4）。電爐煉鋼用的電極為圓柱形，直徑75—500毫米，長度1000—1800毫米。

為了不間斷地往電爐內供應電極，在電極兩端車有帶螺紋的接頭槽，電極借此互相連接。連接時採用電極接頭。兩根電極的

連接处（对接点）是最弱的环节，因为在用接头連接时很难使接合面完全紧密結合。当用接头連接炭素电极时，因为电极表面在車床上加工后还很粗糙，所以采用石墨膏来填充不紧密的地方。石墨化电极因有光滑的表面，故不需要用石墨膏。

圖 3 所列举是各种直径的石墨化电极及炭素电极的允許电流負荷。石墨化电极的允許負荷比炭素电极大一倍，而大截面的則大二倍。

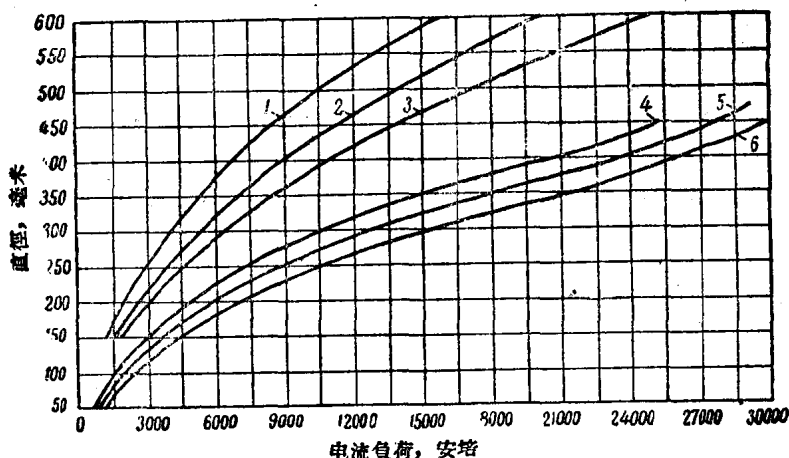


圖 3 各種直徑的炭素電極和石墨化電極的允許電流負荷

炭素電極：1—最低負荷；2—中等負荷；3—最高負荷

石墨化電極：4—最低負荷；5—中等負荷；6—最高負荷

由于炭素電極的導熱系數小，故其橫截面增大時，電流密度急劇下降。于是電極內部的溫度高于外層的溫度。而由于體積不均勻的變化所造成的應力，在溫度相差懸殊的情況下，會引起電極的破裂。

直徑為 150 毫米的石墨化電極及炭素電極內部和外部的溫度與電流密度的關係見表 2。

在使用爐子時，正確選擇電極的規格及類型是特別重要的。石墨化電極與炭素電極比較，具有下列優點：

- 1) 导电系数高 3—4 倍；
- 2) 允許电流的單位負荷大 1—2 倍；
- 3) 电極消耗量減少二分之一；
- 4) 能使爐子的生产率有所提高。

應該說明，炭素电極只使用在中型电爐（3—10 吨）中。小型电爐（3 吨以下）及大型电爐（10 吨以上）必須使用石墨化电極。这因为在电流强度相同的条件下，炭素电極的直径要比石墨化电極大一倍，由于爐頂結構的特点而不能使用。

表 2

在不同的电流密度时电極表面和內部的溫度℃

接通电 流后的 时 間 (分)	电流密度 (安培/厘米 ²)									
	10		20				40			
	炭素电極		炭素电極		石墨化电極		炭素电極		石墨化电極	
	表面	内部	表面	内部	表面	内部	表面	内部	表 面	內 部
5	—	—	—	—	—	—	460	750	310	354
10	—	—	—	—	—	—	750	1220	466	512
15	205	228	390	600	248	261	900	1650	566	618
20	—	—	—	—	—	—	950	1960	—	—
30	286	330	510	830	342	354	—	—	718	806
45	338	404	600	990	388	404	—	—	798	926
60	364	446	690	1120	406	426	—	—	818	954
75	379	470	770	1245	416	436	—	—	818	954
90	390	490	830	1350	420	440	—	—	818	954

在解决选择电極类型的問題时，不仅要根据生产的要求，而且还要根据其他一系列条件。近年来，甚至不考虑經濟上的理由，在煉鋼电爐上趋向于改用石墨化电極。这主要是力求使爐子的操作便利。

在苛性鈉和氯的生产中石墨化陽極应用得十分广泛。按其性質來說，这类陽極和电爐煉鋼用的电極有些不同。这类陽極的电阻率和灰份应当最小（附录 5）。

目前电極工厂制品的品种已远远超过「电極」这个术语所包