

ICS 29.050

CCS Q 50/59

DL

# 中华人民共和国电力行业标准

DL/T 1679—2024

代替DL/T 1679—2016

## 高压直流接地极用煅烧石油焦炭 技术条件

The technical conditions for calcined petroleum coke of HVDC earth electrode

2024-12-25发布

2025-06-25实施

国家能源局 发布



## 目 次

前 言 .....	II
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 总体要求 .....	2
5 技术要求 .....	2
6 试验方法 .....	3
7 检验要求 .....	8
8 标志和随行文件 .....	9
9 包装、运输、贮存 .....	9
附录 A（资料性） 煅烧石油焦炭生产加工流程 .....	10
附录 B（资料性） 标准筛目数与筛孔尺寸对照表 .....	11

## 前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件代替 DL/T 1679-2016《高压直流接地极用煅烧石油焦炭技术条件》。与 DL/T 1679-2016 相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- 修改了部分规范引用文件（见第2章）；
- 删除了石油焦炭、热导率的定义，修改了煅烧石油焦炭的定义，规范了振实密度、真气孔率的定义（见第3章）；
- 修改了对接地极系统安全运行的技术要求（见4.2）；
- 删除了对原材料的规定（见2016版的4.4）；
- 删除了化学成分、物理特性（见2016版的5.3和5.4）；
- 增加了理化性能（见5.2）；
- 修改了颗粒度的分布范围（见5.2.1表1）；
- 删除了含铁量、含硅量的要求（见2016版的5.3表2）；
- 修改了灰分的要求（见5.2.1表1）；
- 删除了热导率的要求（见2016版的5.3表3）；
- 修改了取样方法（见6.1）；
- 删除了含铁量的试验方法（见2016版的6.4.3）；
- 删除了含硅量的试验方法（见2016版的6.4.4）；
- 删除了热导率的试验方法（见2016版6.5.5）；
- 修改了电阻率的试验方法（见6.3.7）；
- 修改了振实密度的试验方法（见6.3.8）；
- 修改了真气孔率的试验方法（见6.3.10）；
- 修改了热容率的试验方法（见6.3.12）；
- 修改了表2试验要求及试验项目（见7.1）；
- 修改了组批及抽样方法（见7.2）；
- 修改了表B.1标准筛目数与筛孔尺寸对照表（见附录B）。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利，本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国电力企业联合会提出。

本文件由电力行业高压直流输电技术标准化技术委员会（DL/TC 12）归口。

本文件起草单位：国网电力科学研究院武汉南瑞有限责任公司、中国电力工程顾问集团西南电力设计院有限公司、中国电力工程顾问集团中南电力设计院有限公司、中国南方电网有限责任公司超高压输电公司电力科研院、国网河南省电力公司电力科学研究院、国网四川省电力公司电力科学研究院、斯坦德检测集团股份有限公司、安庆中大碳素有限公司、山东焦易网数字科技股份有限公司、郑州祥和集团有限公司。

本文件主要起草人：汤亮亮、徐霞、李健、刘刚、陈辉荣、魏德军、胡金、孙勇、董曼玲、王志高、张波、景茂恒、李秋霞、刘永明、刘璐、高峰。

本文件执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会标准化管理中心（北京市宣武区白广路二条一号，100761）。



# 高压直流接地极用煅烧石油焦炭技术条件

## 1 范围

本文件规定了高压直流接地极用煅烧石油焦炭的技术要求、试验方法、检验要求、标志和随行文件、包装、运输及贮存要求。

本文件适用于高压直流接地极用煅烧石油焦炭的生产、检测和验收等。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 191 包装储运图示标志

GB/T 2001 焦炭工业分析测定方法

GB/T 21354 粉末产品 振实密度测定通用方法

GB/T 24521 炭素原料和焦炭电阻率测定方法

GB/T 26297.6 铝用炭素材料取样方法 第6部分：煅后石油焦

YS/T 63.9 铝用炭素材料检测方法 第9部分 真密度的测定 氦比重计法

YS/T 587.4 炭阳极用煅后石油焦检测方法 第4部分：硫含量的测定

YS/T 587.12 炭阳极用煅后石油焦检测方法 第12部分：粒度分布的测定

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**高压直流接地极** HVDC earth electrode

可持续地为高压直流系统传递直流电流的接地装置，是由若干组接地导体和活性填充材料组成。安装在陆地上的接地极称为陆地接地极；安装在海水或海岸的接地极称为海洋或海岸接地极。

### 3.2

**煅烧石油焦炭** calcined petroleum coke

将由石油炼制的残油、渣油或沥青经高温焦化而得到的石油焦炭经过高温 $1300^{\circ}\text{C}\pm 50^{\circ}\text{C}$ 煅烧48小时后经破碎、磨粉、筛分、粒级混配等工艺处理得到的一种活性材料。煅烧石油焦炭生产工艺流程见附录A。

### 3.3

**水分** moisture content

煅烧石油焦炭内部所含的水。

注：单位为%。

### 3.4

**挥发分** volatile matter

将煅烧石油焦炭加热到一定温度时，煅烧石油焦炭中的部分有机物和矿物质发生分解并逸出，逸出的气体产物称为煅烧石油焦炭的挥发分。

注：单位为%。

3.5

**灰分 ash content**

在高温灼烧时，煅烧石油焦炭发生一系列物理和化学变化，最后有机成分挥发逸散，而无机成分（主要是无机盐和氧化物）则残留下来，这些残留物称为灰分。

注：单位为%。

3.6

**电阻率 resistivity**

表示当有电流流过时煅烧石油焦炭电阻特性的物理量。在数值上等于长为 1m，截面积为 1m<sup>2</sup> 的导体所具有的电阻值，用  $\rho$  表示。

注：单位为  $\Omega \cdot m$ 。

3.7

**振实密度 bulk density**

指单位体积煅烧石油焦炭所具有的质量，取决于煅烧石油焦炭颗粒的尺寸、形状和气孔率。也指在一定压强下单位容积煅烧石油焦炭（包括焦粒和孔隙）的质量或重量。

注：单位为  $g/cm^3$ 。

3.8

**真密度 true density**

指煅烧石油焦炭在绝对密实的状态下单位体积的煅烧石油焦炭的实际质量，即去除内部孔隙或者颗粒间的空隙后的密度。在数值上等于煅烧石油焦炭的质量与真体积（不包含气孔在内）的比值。

注：单位为  $g/cm^3$ 。

3.9

**真气孔率 true porosity**

指煅烧石油焦炭在堆积状态下，颗粒之间空隙体积与松散体积的百分比。在数值上等于真密度同振实密度之差与真密度的比值。

注：单位为%。

注：单位为  $W/(m \cdot K)$ 。

3.10

**热容率 heat capacity rate**

单位体积的煅烧石油焦炭每升高或降低 1K 所需吸收或释放的能量。

注：单位为  $J/(cm^3 \cdot K)$ 。

4 总体要求

- 4.1 高压直流接地极用煅烧石油焦炭应满足高压直流接地极的设计使用年限要求。
- 4.2 高压直流接地极用煅烧石油焦炭应满足高压直流接地极系统安全运行的技术要求。
- 4.3 高压直流接地极用煅烧石油焦炭应满足现行规范对环境保护的要求。

5 技术要求

5.1 外观

煅烧石油焦炭外观应干燥，无杂物。试验方法见 6.2。

5.2 理化性能

煅烧石油焦炭的理化性能应符合表 1 的规定。试验方法见 6.3。煅烧石油焦炭标准筛目数与筛孔尺寸对照见附录 B。

表 1 煅烧石油焦炭的理化性能

序号	性能	要求	
1	颗粒度	<35 目	≤5%
		35~100 目	60%~90%
		>100 目	余量
2	碳	≥95%	
3	硫	≤1%	
4	水分	≤0.1%	
5	挥发分	≤0.5%	
6	灰分	≤2%	
7	电阻率	≤1×10 <sup>-3</sup> Ω·m	
8	振实密度	0.9 g/cm <sup>3</sup> ~1.1g/cm <sup>3</sup>	
9	真密度	≥2g/cm <sup>3</sup>	
10	真气孔率	45%~55%	
11	热容率	≥1.0[J/(cm <sup>3</sup> ·K)]	

## 6 试验方法

### 6.1 取样

生产单位的检测样品按 GB/T 26297.6 的规定进行取样。其他单位的检测样品以送检样品为准。

### 6.2 外观

采用目视法进行检测。

### 6.3 理化性能

#### 6.3.1 颗粒度

按 YS/T 587.12 相关规定进行检测。

采用泰勒标准筛进行筛分，分别用 35 目、100 目试验筛以筛孔直径从大到小的次序组合套筛。

将煅烧石油焦炭试样 500g（精确到 0.01g）放入顶层筛，盖上盖子，在振筛机（振动次数 230 次/min，振击次数 175 次/min）上振动 2min。把留在每层筛及底盘上的煅烧石油焦炭颗粒用毛刷仔细刷净，分别称量各层筛粒的试样质量(g)。将每层筛及底盘上的煅烧石油焦炭颗粒的总质量(Σm<sub>i</sub>)与原始质量(m<sub>0</sub>)作比较，差值(m<sub>0</sub>-Σm<sub>i</sub>)应当不大于原始质量的 1%，否则，应当重新进行测定。按公式(1)计算各粒级的质量分数(%), 然后计算累积百分比。计算结果修约至小数点后一位。

$$C_i = \frac{m_i}{m_0} \times 100 \dots \dots \dots (1)$$

式中：

C<sub>i</sub>——各粒级(含底盘)质量分数(%)；

$m_i$ ——筛分后各粒级(含底盘)试样的质量, 单位为克(g);

$m_0$ ——试样的原始质量, 单位为克(g)。

### 6.3.2 含碳量

按 GB/T 2001 相关规定进行检测。

采用间接定碳法, 亦称燃烧法, 即测得试样的水分、挥发分、灰分后, 在总量中将它们减去, 其差值为固定碳含量。

计算公式为:

$$FC_{ad}=100-M_{ad}-A_{ad}-V_{ad} \dots \dots \dots (2)$$

式中:

$FC_{ad}$  —— 煅烧石油焦炭固定碳的质量分数, %;

$M_{ad}$  —— 煅烧石油焦炭水分的质量分数, %;

$A_{ad}$  —— 煅烧石油焦炭灰分的质量分数, %;

$V_{ad}$  —— 煅烧石油焦炭挥发分的质量分数, %。

### 6.3.3 含硫量

按 YS/T 587.4 相关规定进行检测。

将已研磨并于烘箱中干燥后的样品称取 0.2 g~0.3g (精确到 0.0001g), 试样置于电阻炉中, 在氧气流 (氧气纯度≥99.5%) 下于 1350°C 高温燃烧, 硫被氧化成二氧化硫气体, 利用红外分析仪测定二氧化硫总的生成量, 再计算煅烧石油焦炭中硫的含量。

### 6.3.4 水分

按 GB/T 2001 相关规定进行检测。

将煅烧石油焦炭试样放入预先鼓风并加热到 110°C±5°C 的烘箱中烘干 1h, 将样品转移至干燥器中, 冷却至室温 (20min) 后称量。通过测定其烘干前后质量损失来计算试样中的水分, 以质量百分数[%]来表示, 即煅烧石油焦炭试样的水分。

计算公式为:

$$M_{ad} = \frac{m - m_1}{m} \times 100\% \dots \dots \dots (3)$$

式中:

$M_{ad}$  —— 煅烧石油焦炭试样中水分的质量分数, %;

$m$  —— 干燥前煅烧石油焦炭试样的质量, 单位为克 (g);

$m_1$  —— 干燥后煅烧石油焦炭试样的质量, 单位为克 (g)。

### 6.3.5 挥发分

按 GB/T 2001 相关规定进行检测。

将质量约 1g (精确到 0.01g) 的煅烧石油焦炭试样, 放在带盖的瓷坩埚中, 在 900°C±10°C 下隔绝空气加热约 7min, 以减少的质量占煅烧石油焦炭试样质量的质量分数, 减去该煅烧石油焦炭试样的含水量作为煅烧石油焦炭的挥发分含量。

计算公式为:

$$V_{ad} = \frac{m - m_1}{m} \times 100\% - M_{ad} \dots \dots \dots (4)$$

式中：

$V_{ad}$  —— 煅烧石油焦炭试样中挥发分的质量分数，%；

$m$  —— 加热前煅烧石油焦炭试样的质量，单位为克（g）；

$m_1$  —— 加热后残渣的质量，单位为克（g）；

$M_{ad}$  —— 煅烧石油焦炭试样中水分的质量分数，%。

### 6.3.6 灰分

按 GB/T 2001 相关规定进行检测。

称取  $0.5\text{g} \pm 0.05\text{g}$  的煅烧石油焦炭试样，逐渐送入预先升至  $850^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$  的马弗炉中灰化并灼烧 30min，到质量恒定，以残留物的质量占煅烧石油焦炭试样质量的质量分数作为煅烧石油焦炭的灰分含量。

计算公式为：

$$A_{ad} = \frac{m_1}{m} \times 100\% \dots \dots \dots (5)$$

式中：

$A_{ad}$  —— 煅烧石油焦炭试样中灰分的质量分数，%；

$m$  —— 灼烧前煅烧石油焦炭试样的质量，单位为克（g）；

$m_1$  —— 灼烧后灰皿中残留物的质量，单位为克（g）。

### 6.3.7 电阻率

按 GB/T 24521 的规定进行检测。

称取 3.3 g 经缩分并干燥过的试样，为保证试样高度在 15 mm~17 mm 之间，必要时可调整试样量。试样装置示意图如图 1 所示。将试样筒底和压头短接，然后施加  $3.9\text{MPa} \pm 0.03\text{MPa}$  的压力，连好电线并接通电源。调整稳压电源电流，使通过线路的电流为  $500\text{mA} \pm 0.1\text{mA}$ ，然后测量线路的电压降  $V$ 。（该读数应小于 1 mV，否则需调整仪器），测定两次取平均值。在试样筒中加入试样，震实并使试样上表面平整后将试样筒置于试验机内，然后施加  $3.9\text{MPa} \pm 0.03\text{MPa}$  的压力，测量样品高度  $h$ ，连好电线并接通电源，调整稳压电源电流，使通过试样的电流为  $500\text{mA} \pm 0.1\text{mA}$ ，然后测量试样的电压降。

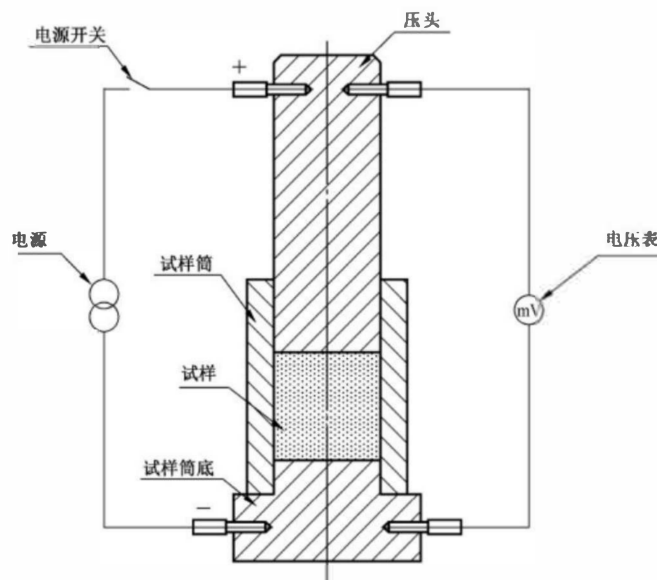


图 1 试样装置示意图

电阻率计算公式如下：

$$\rho = \frac{S \times (V - V_0)}{I \times h} \times 1000 \dots \dots \dots (6)$$

式中：

- $\rho$ ——粉末电阻率，单位为微欧米( $\mu\Omega \cdot m$ )；
- $S$ ——试样筒内横截面积，单位为平方毫米( $mm^2$ )；
- $V$ ——试样与线路电压降，单位为毫伏( $mV$ )；
- $V_0$ ——线路电压降，单位为毫伏( $mV$ )；
- $I$ ——电流，单位为安培( $mA$ )；
- $h$ ——试样颗粒柱的高度，单位为毫米( $mm$ )。

当试样通过电流开始 3 min 内应检测完毕，独立地进行两次测定，每次测定均使用未测试过的新试样，取其平均值。

### 6.3.8 振实密度

按 GB/T 21354 的规定进行检测。

称取约  $100g \pm 0.5g$  试样，精确至 0.1g。将试样放置于已干燥过的量筒中，注意应使试样形成平面。将量筒置于如图 2 所示的振实密度测量装置上，确保量筒垂直。振实密度装置的振幅应为 3mm，振动频率为 100 次/min~300 次/min 之间。启动测量装置直至试样体积不再减少为止，读取振实后表面达到水平的体积数，精确至 0.1 ml。若表面不平，读取振实后表面最高点和最低点的平均值，作为振实体积数。

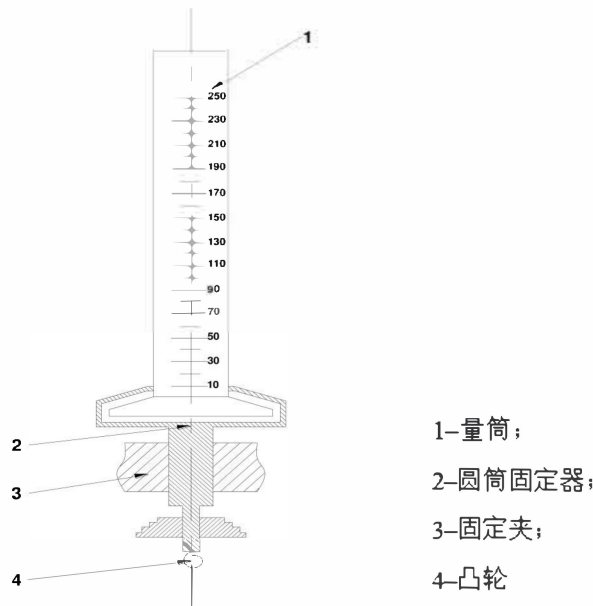


图 2 振实密度测量装置

计算公式如下：

$$\rho_t = \frac{m}{V} \dots \dots \dots (7)$$

式中：

- $\rho_t$ ——试样的振实密度，单位为克每立方厘米 ( $g/cm^3$ )；

$m$ ——试样的质量，单位为克（g）；  
 $V$ ——试样的体积，单位为立方厘米（ $\text{cm}^3$ ）。

### 6.3.9 真密度

按 YS/T 63.9 的规定进行检测。

用精度为 0.1mg 的天平称取制备好的样品 10g 左右装入已知重量的样品杯中，并将装有样品的样品杯置于烘箱内，控制温度为  $110^\circ\text{C}\pm 5^\circ\text{C}$ ，烘干至少 30min，取出，放入干燥器冷却 30min，快速称量。迅速将装有试样的样品杯移入气体比重仪内测量，得到其体积。

计算公式如下：

$$\rho_d = \frac{m}{V} \dots \dots \dots (8)$$

式中：

$\rho_d$  —— 试样的真密度，单位为克每立方厘米（ $\text{g}/\text{cm}^3$ ）；  
 $m$  —— 试样的质量，单位为克（g）；  
 $V$  —— 试样的体积，单位为立方厘米（ $\text{cm}^3$ ）。

### 6.3.10 真气孔率

采用间接计算法，在按 YS/T 63.9 和 GB/T 21354 分别测量出真密度和振实密度后，计算得出样品的真气孔率。

计算公式如下：

$$P_t = \frac{\rho_d - \rho_t}{\rho_d} \times 100 \dots \dots \dots (9)$$

式中：

$P_t$  —— 试样的真气孔率，%；  
 $\rho_d$  —— 试样的真密度，单位为克每立方厘米（ $\text{g}/\text{cm}^3$ ）；  
 $\rho_t$  —— 试样的振实密度，单位为克每立方厘米（ $\text{g}/\text{cm}^3$ ）。

### 6.3.11 热容率

称取不大于 10mg 的样品铺满差示扫描量热仪坩埚底部，盖上盖子，用镊子将样品坩埚放置在传感器顶部中心。使用空坩埚作参比坩埚，在仪器上设置如下参数： $20^\circ\text{C}$  保持 5min，以  $5\text{K}/\text{min}$  的升温速率升温至  $100^\circ\text{C}$ ，保持 5min，然后开始测量，得到样品的温升与焓变曲线，以此求得比热容。测试出样品的密度，用比热容乘以密度即可得出热容率。

计算公式如下：

$$f = c \cdot d \dots \dots \dots (10)$$

式中：

$f$ ——样品的热容率，单位为瓦特每立方米开尔文 [ $\text{J}/(\text{cm}^3 \cdot \text{K})$ ]；  
 $c$ ——样品的比热容，单位为焦耳每千克开尔文 [ $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ ]；  
 $d$ ——样品的密度，单位为千克每立方厘米（ $\text{kg}/\text{cm}^3$ ）。

## 7 检验要求

### 7.1 一般要求

7.1.1 煅烧石油焦炭在产品定型及批量生产前，应按表 2 的规定进行型式试验验证。

7.1.2 供方提供产品时，须提供表 2 中规定的出厂试验检验报告。

7.1.3 需方收到产品后，按批次依照表 2 的规定进行验收试验。

表 2 检验项目

产品	试验项目	试验要求			试验方法
		型式试验	出厂试验	验收试验	
煅烧石油 焦炭	外观	√	√	√	6.2
	颗粒度	√	√	√	6.3.1
	碳	√	√	√	6.3.2
	硫	√	√	√	6.3.3
	水分	√	√	√	6.3.4
	挥发分	√	-	-	6.3.5
	灰分	√	-	-	6.3.6
	电阻率	√	√	√	6.3.7
	振实密度	√	-	√	6.3.8
	真密度	√	-	-	6.3.9
	真气孔率	√	-	-	6.3.10
	热容率	√	-	-	6.3.11

注：“√”表示必须进行的项目，“—”表示可不进行项目。

### 7.2 组批及抽样

煅烧石油焦炭以同一原料、同一工艺、同一厂家生产的产品，以 2000 吨为一检验批次，不足 2000 吨按一批进行检验，最低样品量不少于 5kg。

### 7.3 检验结果的判定

#### 7.3.1 型式试验

在下列情况之一时，应进行型式试验：

- 新产品投产前；
- 材料或工艺发生变化时；
- 停产半年及以上重新恢复生产线；
- 从上一次进行型式试验后满 5 年；
- 用户提出要求时。

型式试验在经出厂试验合格的产品中抽取，任一项试验结果不合格，则判定该型号产品型式试验不合格。

### 7.3.2 出厂试验

产品应经供方质检部门按组批逐批检验，检验合格后才能出厂。

煅烧石油焦炭试验项目有一项不合格者，从该批产品中抽取双倍数量的试样进行重复试验；重复试验结果全部合格，则判定该批次产品合格；若重复试验结果仍有试样不合格，则判定该批次产品不合格。

### 7.3.3 验收试验

需方对到货的煅烧石油焦炭按组批进行抽样全部项目。

有一项不合格者，从该批产品中抽取双倍数量的试样进行重复试验；重复试验结果全部合格，则判定该批次产品合格；若重复试验结果仍有试样不合格，则判定该批次产品不合格。

型式试验和验收试验需由具有相关资质的第三方检测机构进行，并出具检测报告。

## 8 标志和随行文件

### 8.1 标志

在检验合格的每件产品上，应有如下内容的标签：

- a) 产品名称；
- b) 净重；
- c) 供方名称。

### 8.2 随行文件

每批产品应附有产品质量证明书，注明：

- a) 供方名称；
- b) 产品名称；
- c) 批号；
- d) 净重和件数；
- e) 供方质量监督部门印记；
- f) 检验日期；
- g) 检测结果。

## 9 包装、运输、贮存

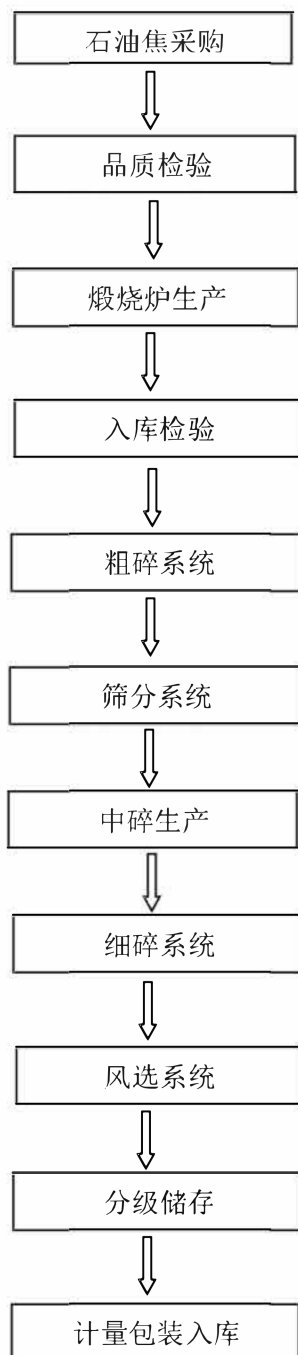
产品包装应符合GB/T 191的规定，包装袋应完好并满足防水、防潮、防污染的要求，运输和贮存应避免热源。

附录 A

(资料性)

煅烧石油焦炭生产加工流程

煅烧石油焦炭生产加工设备包括对辊破碎机、中碎破碎机、细碎筛粉、雷蒙磨、风选器等精细设备。其工艺流程示意图如图A.1所示。



图A.1 煅烧石油焦炭生产工艺流程图

**附录 B**  
**(资料性)**  
**标准筛目数与筛孔尺寸对照表**

标准筛目数与筛孔尺寸对照见表B.1。

表 B.1 标准筛目数与筛孔尺寸对照表

常用标准筛目 (目)	筛孔尺寸 (mm)	常用标准筛目 (目)	筛孔尺寸 (mm)
2	8.0	90	0.16
3	6.7	100	0.15
4	4.75	115	0.125
5	4.0	120	0.12
6	3.35	125	0.115
7	2.8	130	0.113
8	2.36	140	0.109
10	1.7	150	0.106
12	1.4	160	0.096
14	1.18	170	0.09
16	1.0	175	0.086
18	0.88	180	0.08
20	0.83	200	0.075
24	0.7	230	0.062
28	0.6	240	0.061
30	0.55	250	0.058
32	0.5	270	0.053
35	0.425	300	0.048
40	0.38	325	0.045
42	0.355	400	0.038
45	0.325	500	0.025
48	0.30	600	0.023
50	0.27	800	0.018
60	0.25	1000	0.013
65	0.23	1340	0.01
70	0.212	2000	0.0065
80	0.18	5000	0.0026