



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 10066.2—2019/IEC 60676:2011  
代替 GB/T 10066.10—2005

---

## 电热和电磁处理装置的试验方法 第2部分：直接电弧炉

Test methods for electroheating and electromagnetic processing installations—  
Part 2: Direct arc furnaces

(IEC 60676:2011, Industrial electroheating equipment—Test methods for  
direct arc furnaces, IDT)

2019-08-30 发布

2020-03-01 实施

国家市场监督管理总局 发布  
中国国家标准化管理委员会

## 目 次

前言 .....	III
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 电弧炉系统的特性 .....	4
4.1 一般条款 .....	4
4.2 电弧炉的电气总成 .....	4
4.3 炉子结构 .....	5
4.4 水冷 .....	5
5 试验类型及其性能的通用试验条件 .....	5
5.1 一般要求 .....	5
5.2 冷态和热态试验项目 .....	5
6 技术试验 .....	6
6.1 大电流系统的电气绝缘 .....	6
6.2 冷却水系统 .....	6
6.3 电极移动速度 .....	6
6.4 短路试验程序 .....	6
6.5 电弧炉运行期间的主要特性 .....	10
6.6 电极消耗 .....	11
6.7 相序 .....	11
6.8 电弧炉-额定容量 .....	11
参考文献 .....	12

## 前 言

GB/T 10066 现有 12 个部分:

- GB/T 10066.1 电热和电磁处理装置的试验方法 第 1 部分:通用部分;
- GB/T 10066.2 电热和电磁处理装置的试验方法 第 2 部分:直接电弧炉;
- GB/T 10066.3 电热装置的试验方法 第 3 部分:有心感应炉和无心感应炉;
- GB/T 10066.31 电热和电磁处理装置的试验方法 第 31 部分:感应透热装置;
- GB/T 10066.4 电热设备的试验方法 第 4 部分:间接电阻炉;
- GB/T 10066.5 电热装置的试验方法 第 5 部分:电热和电化学用等离子体设备;
- GB/T 10066.6 电热和电磁处理装置的试验方法 第 6 部分:工业微波加热装置输出功率的测定方法;
- GB/T 10066.7 电热装置的试验方法 第 7 部分:具有电子枪的电热装置;
- GB/T 10066.8 电热装置的试验方法 第 8 部分:电渣重熔炉;
- GB/T 10066.9 电热装置的试验方法 第 9 部分:高频介质加热装置输出功率的测定;
- GB/T 10066.11 电热装置的试验方法 第 11 部分:埋弧炉;
- GB/T 10066.12 电热装置的试验方法 第 12 部分:红外加热装置。

本部分为 GB/T 10066 的第 2 部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本部分代替 GB/T 10066.10—2005《电热装置的试验方法 第 10 部分:直接电弧炉》,与 GB/T 10066.10—2005 相比主要技术变化如下:

- 范围中对炉型的定义更加清楚;
- 对规范性引用文件和术语进行了更新和补充;
- 增加了第 4 章“电弧炉系统的特性”,包括一般条款、电弧炉的电气总成、炉子结构、水冷共 4 条;
- 在第 5 章“试验类型及其性能的通用试验条件”的“一般要求”中增加了对安全标准的考虑,对 SVC、电源波动、测量点、测量设备的要求;
- 对“技术试验”的内容进行了修改(见第 6 章,2005 年版第 5 章);
- 对电阻和电抗测量布线图进行简化(见图 1,2005 年版图 1、图 2 和图 3)。

本部分使用翻译法等同采用 IEC 60676:2011《工业电热设备 直接电弧炉的试验方法》。

与本部分中规范性引用的国际文件有一致性对应关系的我国文件如下:

- GB/T 5959.1—2019 电热和电磁处理装置的安全 第 1 部分:通用要求(IEC 60519-1:2015, IDT)
- GB 5959.2—2008 电热装置的安全 第 2 部分:对电弧炉装置的特殊要求(IEC 60519-4:2006, IDT)
- GB/T 10066.1—2019 电热和电磁处理装置的试验方法 第 1 部分:通用部分(IEC 60398:2015, MOD)

本部分做了下列编辑性修改:

- 标准名称修改为“电热和电磁处理装置的试验方法 第 2 部分:直接电弧炉”;
- 删除 3.6(电弧炉的)容量中关于单位说明的注“是公制单位还是英吨按预先约定”;
- 3.21 单位修改为“MVA”;

——6.2 单位修改为“Pa”。

本部分由中国电器工业协会提出。

本部分由全国工业电热设备标准化技术委员会(SAC/TC 121)归口。

本部分起草单位:西安电炉研究所有限公司、苏州振吴电炉有限公司、陕西宏欣源冶金设备实业有限公司、西安中冶新材料有限公司、国家电炉质量监督检验中心。

本部分主要起草人:余维江、李琨、朱兴发、晏显斌、田杭亮、寇君、张永武、黄奎刚、杨佳。

本部分所代替标准的历次版本发布情况为:

——GB/T 6542—1986;

——GB/T 10066.10—2005。



# 电热和电磁处理装置的试验方法

## 第 2 部分：直接电弧炉

### 1 范围

GB/T 10066 的本部分规定了电弧炉(EAF)的试验程序、条件和方法,根据这些内容确定了容量在 500 kg/炉以上的交流电弧炉(EAFac)或直流电弧炉(EAFdc)的主要参数和主要运行特性。

电弧炉技术同样适用于这类炉子,即炉内液态金属保持高温或过热至浇注温度[如使用交流的钢包炉(LF)]。

某些特殊设备的试验方法,如直流电弧炉可控整流器,在 IEC 60146-1-1 中规定。

埋弧炉(SAF)的试验方法在 IEC 60683 中规定。

### 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是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。

IEC 60398:1999 工业电热装置 通用试验方法(Industrial electroheating installations— General test methods)

IEC 60519-1 电热装置的安全 第 1 部分:通用要求(Safety in electroheating installations— Part 1: General requirements)

IEC 60519-4 电热装置的安全 第 4 部分:对电弧炉装置的特殊要求(Safety in electroheat installations—Part 4: Particular requirements for arc furnace installations)

### 3 术语和定义

IEC 60519-1:2010 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

注:通用定义参考 IEC 60050《国际电工词汇》。与工业电热有关的术语在 IEC 60050-841 中规定。

#### 3.1

**有功功率 active power**

***P***

瞬时功率  $p$  (kW) 在周期状态下的周期时间  $T$  (h) 内的平均值。

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p dt$$

注:有功功率瞬时值(均方根值)可在任意时刻测量,包括所有相。

[IEC 60050-131:2002, 131-11-42, 修改]

#### 3.2

**视在功率 apparent power**

***S***

为电弧炉供电的变压器的额定功率(MVA)。

$$S = \sqrt{3}UI$$

式中:

$U$  ——电压均方根值,正弦值,单位为千伏(kV);

$I$  ——电流均方根值,正弦值,单位为千安(kA)。

[IEC 60050-131:2002,131-11-41,修改]

### 3.3

#### 电弧炉 arc furnace

具有炉膛且金属炉料在其内主要被交流(EAFac)或直流(EAFdc)电弧加热的炉子。

[IEC 60050-841:2004,841-26-05,修改]

### 3.4

#### 电弧炉变压器 arc furnace transformer

将中/高压电源转化为低电压和大电流为电弧炉供电的变压器。

[IEC 60050-841:2004,841-26-55,修改]

### 3.5

#### 不对称系数 asymmetry factor

$K$

任意相间最大和最小阻抗之差除以所有三相平均阻抗的值。

注:不适用于 EAFdc。

### 3.6

#### (电弧炉的)容量 capacity (of EAF)

电弧炉内可产生的液态材料的量(t)。

[IEC 60050-841:2004,841-21-40,修改]

### 3.7

#### (电弧炉装置的)冷态 cold state (of EAF installation)

所有部件的温度等于环境温度时的电弧炉装置的热状态。

### 3.8

#### 交流电弧炉 electric arc furnace using alternating current;EAFac

使用三相交流电在电极与被处理炉料之间形成电弧的炉子。

注:钢包炉(LF)在相同的条件下运行。

[IEC 60050-841:2004,841-26-07,修改]

### 3.9

#### 直流电弧炉 electric arc furnace using direct current;EAFdc

通过底电极(阳极)将直流电引到被处理炉料,在炉料与顶电极(阴极)之间形成电弧的炉子。

[IEC 60050-841:2004,841-26-06,修改]

### 3.10

#### 电弧炉电极 EAF electrode

由高密度石墨制成,用来传输电能,在端头与炉料之间形成电弧的部件。

注:在直流电弧炉中,底电极(阳极)为金属或导电材料,位于电弧炉底部,在炉料与顶部石墨电极(阴极)之间形成电弧。

[IEC 60050-841:2004,841-26-38,修改]

### 3.11

#### 电极夹头 electrode clamp

用来夹住电极并将电弧电流供给电极的水冷金属设备。

[IEC 60050-841:2004,841-26-39,修改]

## 3.12

**出料量 heat**

在一个程序之后,从电弧炉倒入钢包的液体材料的质量(t)。

## 3.13

**大电流线路 high-current line**

在变压器二次侧套管与电弧炉电极之间传导大电流的组件。

注:它由母线系统、电缆和连接至电极的电流管系统或导电电极臂组成。

[IEC 60050-841:2004,841-26-54,修改]

## 3.14

**(电弧炉的)热态 hot state(of EAF)**

电弧炉各部件及炉料温度在 600 °C 以上且各部件达到稳态温度时的热状态。

## 3.15

**中/高压开关设备 medium/high-voltage switchgear**

在带负荷条件下,接通/切断电弧炉变压器与电源的连接的中/高压开关设备。

注:电弧炉电路的开关设备每天在带负荷条件下能够进行 150 次操作。

## 3.16

**运行短路 operational short circuit**

交流电弧炉至少 2 根电极与炉料/液态材料直接接触引起的短路。

注:在直流电弧炉中,如果顶电极与炉料/液态材料接触,就形成短路。

[IEC 60050-841:2004,841-26-70,修改]

## 3.17

**相序 phase rotation**

电磁场的相顺序(从炉子顶部逆时针看)。

## 3.18

**功率因数 power factor** **$\cos \varphi$** 

有功功率与变压器一次侧测得的视在功率之比。

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}$$

式中:

$P$  ——有功功率,单位为兆瓦(MW);

$S$  ——视在功率,单位为兆瓦(MW)。

注:如果有谐波,功率因数按 IEC 60146-1-1 测定。

## 3.19

**通电时间 power-on time (p-on 时间)**

首次起弧与出钢之间的时间(min),电极在此期间通电。

## 3.20

**生产率 production rate**

倒出的金属总量(t)除以出钢周期(h)。

## 3.21

**无功功率 reactive power** **$Q$** 

在变压器一次侧测得的系统使用的总的无功电功率(MVA)。



[IEC 60050-131:2002,131-11-44,修改]

3.22

**直流整流器 rectifier for direct current**

将交流转化为直流供给直流电弧炉的装置。

3.23

**电抗器 reactor**

与交流电弧炉变压器串联,将起弧对电源的冲击降至最低且保证过程中电弧稳定的器件。

3.24

**炉壳 shell**

由钢制成并有炉顶覆盖的电弧炉的炉体。

[IEC 60050-841:2004,841-26-20,修改]

3.25

**平滑扼流器(分路电抗器) smoothing choke (shunt reactor)**

将电弧条件改变引起的直流工艺中的高频波动进行平滑处理的感应器。

注:如果在系统中耦合了多个整流器,则感应器也可以减小波动。

3.26

**单位电耗 specific electrical energy consumption**

熔化和过热期间消耗的电能(kWh)与规定温度下倒出的金属(t)之比。

[IEC 60050-841:2004,841-22-72,修改]

3.27

**出钢周期 tap-to-tap time**

$t_{tt}$

前一炉次倾炉结束与当前炉次倾炉结束间的时间(min)。

## 4 电弧炉系统的特性

### 4.1 一般条款

电弧炉可处理黑色金属(如钢或铁水)或有色金属(如铜、镍)或刚玉等。电弧炉内可加入固态或液态炉料。

### 4.2 电弧炉的电气总成

电弧炉的电气总成包括以下设备:

a) 主电路,如:

- 包括开关设备在内的中/高压电源线;
- 无功补偿(如果有的话);
- 交流串联电抗器(如果有的话);
- 电弧炉变压器;
- 大电流母线系统;
- 大电流电缆;
- 电极臂系统;
- 直流电弧炉:直流可控整流器和分路电抗器;
- 交流电弧炉:顶部的三根石墨电极;
- 直流电弧炉:炉底专用电极和炉顶石墨极。



b) 控制装置所有电气参数的设备(例如,板、面板、桌、控制措施和信号装置等)。

### 4.3 炉子结构

电弧炉含有一个由炉顶覆盖的炉膛,可在加料或维修时打开。

电弧炉炉壳按其标称容量用钢材制成。炉底衬以耐火材料,用来盛装液态金属和炉渣。底部以上的侧墙衬以耐火材料或使用水冷侧墙板。炉顶完全由耐火材料覆盖,或在电极附近使用耐热中心件水冷。

电弧炉容量:按照炉底的净容积和电弧炉内熔炼的不同材料的比重计算。炉膛:位于水平位置,金属表面位于规定的基准线以下,此时在液态炉料顶部允许出现最少量的炉渣。根据设计规定砌筑炉衬。

注:不同材料的比重需要供应商与用户协商一致。

### 4.4 水冷

电弧炉的电气部件在特定情况下应进行水冷。

注:此外,有必要用冷却水冷却炉膛、炉顶和液压系统。

应将下列电气设备的冷却水路进行区分:

- a) 用油冷却的变压器由水间接冷却;
- b) 包括电缆在内的大电流母线系统;
- c) 电极臂;
- d) 用经过特殊处理的水冷却的半导体器件由水间接冷却。

## 5 试验类型及其性能的通用试验条件

### 5.1 一般要求

应按照 IEC 60398 中的规定进行试验。

试验过程中应考虑 IEC 60519-1 和 IEC 60519-4。

试验应在与 SVC(静态无功补偿)设备的状态无关时进行。

电源波动宜最低且三相对称性应最大。

所有的测量点由供应商与用户协商一致。

测量设备的类型以及测量点的布局 and 安排应列入实验报告。

### 5.2 冷态和热态试验项目

有关电气设备的下列试验应在电弧炉准备运行之前进行并定期进行,或者在修理和改造之后进行:

- a) 高/中压设备及大电流线路电气绝缘验证(见 6.1.2);
- b) 变压器和大电流系统冷却水系统(见 6.2);
- c) 电极系统的速度和动作(见 6.3);
- d) 相序试验(见 6.7);
- e) 所有安全装置及连锁的检查。

下列试验应在电弧炉热态时进行:

- a) 运行中的短路试验(见 6.4);
- b) 相电抗对称性(见 6.4.4);
- c) 单位电耗(见 6.5);
- d) 单位生产率(见 6.5);
- e) 净通电时间(见 6.5.2);

- f) 功率因数(见 6.5.2);
- g) 单位电极消耗(见 6.6)。

注：制造商提供的试车和操作手册中可包括附加试验。

## 6 技术试验

### 6.1 大电流系统的电气绝缘

#### 6.1.1 一般要求

应对系统中没有任何冷却水(断开供水软管)且电极未就位,冷态时的空电弧炉进行电气绝缘试验。直流电弧炉:变压器(可控整流器)和二次侧的测量系统应与大电流系统断开。

#### 6.1.2 绝缘电阻

应按照 IEC 60398:1999 中 7.1.2 和 7.1.3 使用兆欧表进行绝缘试验。

应按以下要求进行试验:

- 将电弧炉变压器(交流电弧炉)或整流器(直流电弧炉)与大电流系统断开;
  - 测量每一相与电弧炉结构(接地)之间的电阻。最小值应为 1 kΩ/V 额定电压。
- 底电极的绝缘试验应按供应商提供的试车和操作手册进行。

### 6.2 冷却水系统

应在电弧炉正常运行且处于热态时进行试验。

冷却水的下述特定信息对试验很有必要:

- 流量(m<sup>3</sup>/h);
- 进出口压力(Pa);
- 最高入口和出口温度(°C);
- 品质(如硬度、导电性等)。

冷却水的成分、特性、压力和入口温度应符合供应商的推荐值。

冷却水流量应按式(1)计算:

$$q = \frac{Q_m}{t} \dots\dots\dots(1)$$

式中:

- $q$  ——冷却水流量,单位为立方米每小时(m<sup>3</sup>/h);
- $Q_m$  ——测得的冷却水量,单位为立方米(m<sup>3</sup>);
- $t$  ——试验需要的时间,单位为小时(h)。

### 6.3 电极移动速度

电极移动使用秒表在两个方向(向上和向下)对规定的距离进行测量。每个电极臂随石墨电极的运行长度单独运动,交流电弧炉三根电极同时移动。

注：测量尽可能使用电信号控制。

### 6.4 短路试验程序

#### 6.4.1 一般要求

##### 6.4.1.1 交流电弧炉

大电流系统的电阻[R]和电抗[X]通过测量变压器一次侧短路时的系统电流和电压来测定。根据

变压比和矢量群将测得的数值转化到变压器二次侧的大电流系统。

对矢量组不同于 Dd0 的变压器( $\Delta$ /无相移的 $\Delta$ ),应允许使用相关仪器(例如罗氏线圈或电流互感器)对二次电流进行测量。

#### 6.4.1.2 直流电弧炉

应进行短路试验,以测定变压器和整流器的额定和最大电流,评估大电流系统的损失。

#### 6.4.2 大电流系统:交流电弧炉的电阻和电抗

大电流系统的电阻( $R$ )和电抗( $X$ )值通过平熔池条件(温度高于熔点)下正常运行时的三相短路条件(例如在三根电极同时浸入液态金属时的电压和电流测量)方式来测定。

如果因某些先决条件使上述方法不可行时,应由制造商和用户协商,采用合适的替代方法。

#### 6.4.3 试验程序

在试验前,电弧炉变压器应切换至适当低的抽头(如果安装了电抗器,将其接入),以确保三相运行短路条件下的炉子电流尽可能接近电弧炉变压器额定二次电流。

应在接近额定电流的条件下进行试验,但应避免对涉及的设备(如电极、变压器等)造成损坏。

在试验前,应将三根电极调整到在电极臂下的长度相同,以保证三个电极臂在试验中处于相同位置。在试验中,电极应浸入液态金属中以达到安全的短路条件(使波动条件稳定且功率因数达到短路值 $<0.25$ 感应)。

所有的试验应至少经过两次试验验证。计算所有试验的阻抗和不对称值,算术平均值就是短路阻抗。其中,测量大电流系统电参数以测定电阻和电抗值的布线如图 1 所示。

一次侧的测量:

$$\begin{array}{lll} I_{1A}, I_{1B}, I_{1C} & U_{1A}, U_{1B}, U_{1C} & P_{1A}, P_{1B}, P_{1C} \\ & U_{1AB}, U_{1AC}, U_{1BC} & P_{1AB}, P_{1AC}, P_{1BC} \end{array}$$

一次侧值计算:

$$\sum P = P_{1A} + P_{1B} + P_{1C} \text{ 或 } \sum P = P_{1AB} + P_{1BC} \dots\dots\dots(2)$$



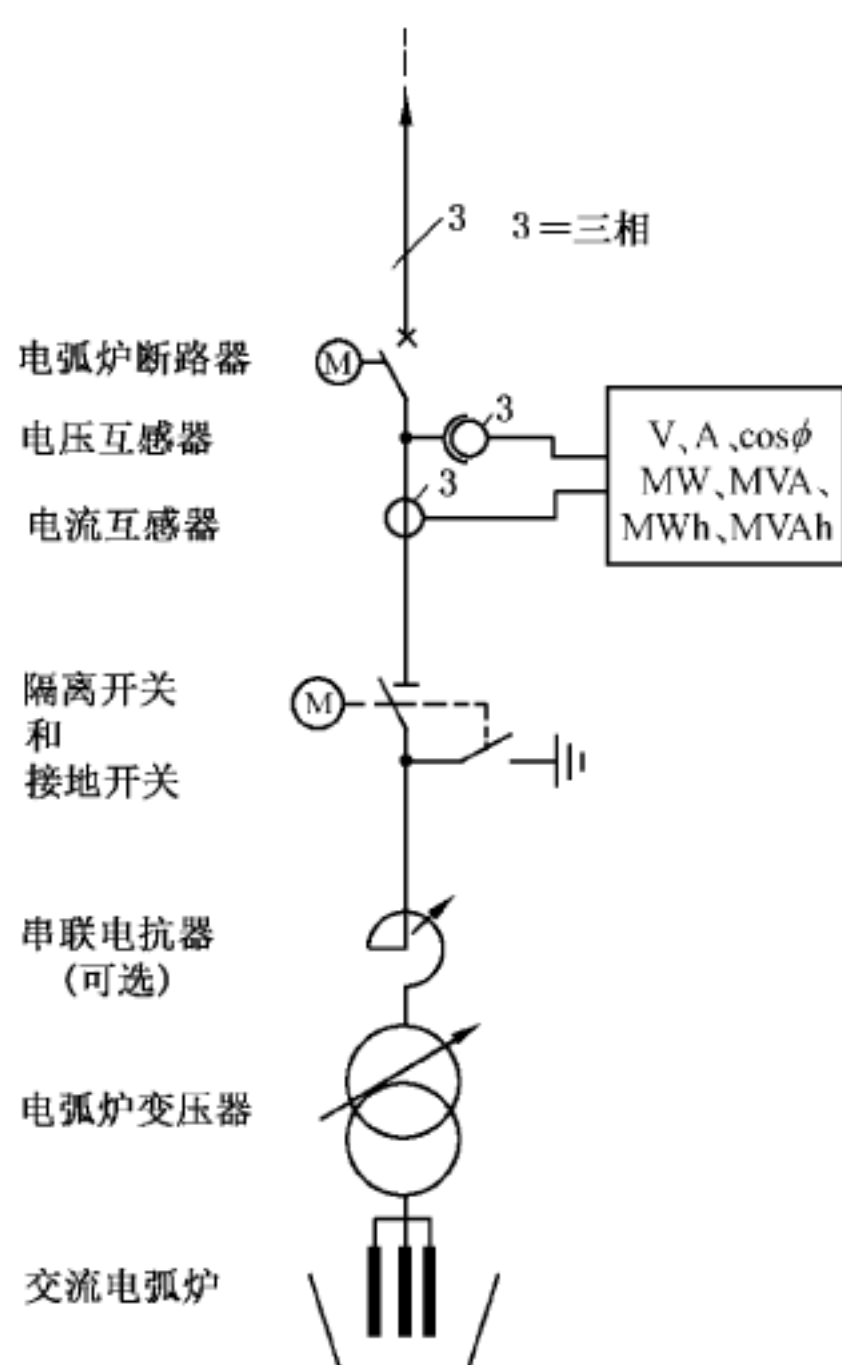


图 1 测量大电流系统电参数以测定电阻和电抗值的布线图

电极 A 和电极 B 浸入时的短路试验：

$$R_{1AB} = \frac{4 \sum P}{(I_{1A} + I_{1B})^2} \quad Z_{1AB} = \frac{2U_{1AB}}{I_{1A} + I_{1B}} \quad X_{1AB} = \sqrt{Z_{1AB}^2 - R_{1AB}^2} \quad \dots\dots (3)$$

电极 B 和电极 C 浸入时的短路试验：

$$R_{1BC} = \frac{4 \sum P}{(I_{1B} + I_{1C})^2} \quad Z_{1BC} = \frac{2U_{1BC}}{I_{1B} + I_{1C}} \quad X_{1BC} = \sqrt{Z_{1BC}^2 - R_{1BC}^2} \quad \dots\dots (4)$$

电极 A 和电极 C 浸入时的短路试验：

$$R_{1AC} = \frac{4 \sum P}{(I_{1A} + I_{1C})^2} \quad Z_{1AC} = \frac{2U_{1AC}}{I_{1A} + I_{1C}} \quad X_{1AC} = \sqrt{Z_{1AC}^2 - R_{1AC}^2} \quad \dots\dots (5)$$

注 1：如果测量的是  $U_{1A}$ 、 $U_{1B}$  和  $U_{1C}$  而不是  $U_{1AB}$ 、 $U_{1BC}$  和  $U_{1AC}$ ，则相-相间电压可通过三个单相短路试验的矢量图计算。

对三个单相短路试验的一般分析：

$$R_{1A} = \frac{R_{1AB} + R_{1AC} - R_{1BC}}{2} \quad R_{1B} = \frac{R_{1AB} + R_{1BC} - R_{1AC}}{2} \quad R_{1C} = \frac{R_{1BC} + R_{1AC} - R_{1AB}}{2} \quad \dots\dots (6)$$

$$X_{1A} = \frac{X_{1AB} + X_{1AC} - X_{1BC}}{2} \quad X_{1B} = \frac{X_{1AB} + X_{1BC} - X_{1AC}}{2} \quad X_{1C} = \frac{X_{1BC} + X_{1AC} - X_{1AB}}{2} \quad \dots\dots (7)$$

$$Z_{1A} = \sqrt{R_{1A}^2 + X_{1A}^2} \quad Z_{1B} = \sqrt{R_{1B}^2 + X_{1B}^2} \quad Z_{1C} = \sqrt{R_{1C}^2 + X_{1C}^2} \quad \dots\dots (8)$$

电弧炉变压器电压比、电阻和电抗：

$$k_T = \frac{U_1}{U_2} \quad \dots\dots (9)$$

$$R_{2TA} \approx R_{2TB} \approx R_{2TC} \approx R_{2Tm} = \frac{P_{CuT}}{3I_{2T}^2} \quad \dots\dots (10)$$

$$X_{2TA} \approx X_{2TB} \approx X_{2TC} \approx X_{2Tm} = \sqrt{\left(\frac{U_{2T}^2 u_{kT}}{100S_T}\right)^2 - R_{2Tm}^2} \quad \dots\dots (11)$$

对具有矢量组 Dd0 或 Yy0 的电弧炉变压器，大电流线路(二次电压)：



$$R_A \approx \frac{R_{1A}}{k_T^2} - R_{2Tm} \quad R_B \approx \frac{R_{1B}}{k_T^2} - R_{2Tm} \quad R_C \approx \frac{R_{1C}}{k_T^2} - R_{2Tm} \quad \dots\dots\dots(12)$$

$$X_A \approx \frac{X_{1A}}{k_T^2} - X_{2Tm} \quad X_B \approx \frac{X_{1B}}{k_T^2} - X_{2Tm} \quad X_C \approx \frac{X_{1C}}{k_T^2} - X_{2Tm} \quad \dots\dots\dots(13)$$

$$Z_A = \sqrt{R_A^2 + X_A^2} \quad Z_B = \sqrt{R_B^2 + X_B^2} \quad Z_C = \sqrt{R_C^2 + X_C^2} \quad \dots\dots\dots(14)$$

按图 1 的 3 个单相短路试验的分析用于计算阻抗和电抗的平均值:

$$R_{1,mean} = \frac{1}{3} \left( \frac{P_{1A}}{I_A^2} + \frac{P_{1B}}{I_B^2} + \frac{P_{1C}}{I_C^2} \right) \quad \dots\dots\dots(15)$$

$$X_{1,mean} = \frac{1}{3} \left[ \sqrt{\left( \frac{U_{1A}}{I_{1A}} \right)^2 - \left( \frac{P_{1A}}{I_{1A}^2} \right)^2} + \sqrt{\left( \frac{U_{1B}}{I_{1B}} \right)^2 - \left( \frac{P_{1B}}{I_{1B}^2} \right)^2} + \sqrt{\left( \frac{U_{1C}}{I_{1C}} \right)^2 - \left( \frac{P_{1C}}{I_{1C}^2} \right)^2} \right] \quad \dots\dots(16)$$

$$Z_{1,mean} = \sqrt{R_{1,mean}^2 + X_{1,mean}^2} \quad \dots\dots\dots(17)$$

三相短路试验的分析用于计算阻抗和电抗的平均值:

$$U_{1phase-ground,mean} = \frac{U_{1AB} + U_{1AC} + U_{1BC}}{3\sqrt{3}} \quad \dots\dots\dots(18)$$

$$I_{1,mean} = \frac{I_{1A} + I_{1B} + I_{1C}}{3} \quad \dots\dots\dots(19)$$

$$Z_{1,mean} = \frac{U_{1phase-ground,mean}}{I_{1,mean}} \quad R_{1,mean} = \frac{P_{1AB} + P_{1BC}}{3 \cdot I_{1,mean}^2} \quad X_{1,mean} = \sqrt{Z_{1,mean}^2 - R_{1,mean}^2} \quad \dots\dots(20)$$

在这些公式中:试验条件:(1)一次侧;(2)二次侧;(A、B、C)三相;

$I_{1A}, I_{1B}, I_{1C}$	每一相的电流
$U_{1A}, U_{1B}, U_{1C}$	每一相的电压
$P_{1A}, P_{1B}, P_{1C}$	每一相的功率
$R_{1A}, R_{1B}, R_{1C}$	每一相的电阻
$X_{1A}, X_{1B}, X_{1C}$	每一相的电抗
$Z_{1A}, Z_{1B}, Z_{1C}$	每一相的阻抗
$k_T$	用于试验的抽头的变压器电压比
$P_{CuT}$	额定容量下的变压器负荷损耗
$I_{2T}$	额定二次变压器电流
$U_{2T}$	额定二次变压器电压
$S_T$	变压器额定视在功率
$u_{kT}$	变压器额定百分阻抗电压
$R_{2TA}, R_{2TB}, R_{2TC}$	变压器二次相电阻
$R_{2Tm}$	变压器平均二次相电阻
$X_{2TA}, X_{2TB}, X_{2TC}$	变压器二次相电抗
$X_{2Tm}$	变压器平均二次相电抗
$R_A, R_B, R_C$	每一相的电阻
$X_A, X_B, X_C$	每一相的电抗
$Z_A, Z_B, Z_C$	每一相的阻抗

注 2:与电弧炉变压器有关的数据可能包括电抗器。需特别注意试验中电抗器饱和的情况。

注 3:在计算非短路试验中用到的抽头特性时,要考虑每个抽头上的变压器电抗值是不同的。

采用的大电流线路的相电阻/电抗是在 2 次或更多试验中测定的电阻/电抗的是算术平均值。

#### 6.4.4 不对称系数

不对称系数(K)(%)根据每相阻抗  $Z_{1A}, Z_{1B}, Z_{1C}$  的值按式(21)计算:

$$K_{as-Z} = \frac{Z_{max} - Z_{min}}{Z_m} \times 100 \quad \dots\dots\dots(21)$$

式中：

- $Z_{max}$  —— 每一相的最大阻抗；
- $Z_{min}$  —— 每一相的最小阻抗；
- $Z_m$  —— 所有三相阻抗的算术平均值。

阻抗应在尽可能接近额定二次电流的短路试验中测量，该电流与变压器一次侧额定功率相对应。因电极尺寸和材料的较大影响引起的电阻( $R$ )值不予考虑。

注：不对称系数(%)可按式(22)通过测量相电抗( $X$ )导出：

$$K_{as-X} = \frac{X_{max} - X_{min}}{X_m} \times 100 \quad \dots\dots\dots(22)$$

式中：

- $X_{max}$  —— 每一相的最大电抗；
- $X_{min}$  —— 每一相的最小电抗；
- $X_m$  —— 所有三相电抗的算术平均值。

两次测量最小值的算术平均值为试验结果。

## 6.5 电弧炉运行期间的主要特性

### 6.5.1 一般要求

应测量和/或计算以下特性：

- 单位电耗(kWh/t)；
- 生产率(t/h)；
- 功率因数( $\cos \varphi$ )；
- 通电时间(min)；
- 出钢时间(min)。

### 6.5.2 试验程序

试验应在正常运行(如果有排烟和清洁系统,使其运行)条件下的连续 5 个炉次时进行。每个试验值的算术平均值为试验结果。

炉料的堆积密度和主要特性应有供应商和用户商定。

测量和/或计算以下值：

- a) 单位电耗(kWh/t)：每一炉消耗的电能除以在规定温度下倒出的液态金属的质量(t)：

$$e_p = \frac{E_{pt} - E_0}{G} \quad \dots\dots\dots(23)$$

式中：

- $E_{pt}$  —— 倾炉之后的电能读数,单位为千瓦时(kWh)；
- $E_0$  —— 试验前的电能读数,单位为千瓦时(kWh)；
- $G$  —— 倒出的液态金属的质量,单位为吨(t)。

注 1：因为  $e_p$  容易受到出炉温度、通电时间、耗氧量等因素的影响，因此宜根据供应商与用户协商规定的公式对  $e_p$  进行修正。

- b)  $t_{tot}$  时间内的单位生产率  $p$ (t/h)：

$$p = \frac{G}{t_{tot}} \quad \dots\dots\dots(24)$$

式中：

$G$ ——倒出的液态金属的质量，单位为吨(t)；

$t_{\text{m}}$ ——冶炼周期，单位为小时(h)。

c) 工序约定时间内的功率因数  $\cos\varphi$ ：

$$\cos\varphi = \frac{E_{\text{pt}} - E_0}{\sqrt{(E_{\text{pt}} - E_0)^2 + (E_{\text{Qt}} - E_{\text{Q0}})^2}} \dots\dots\dots(25)$$

式中：

$E_{\text{Qt}}$ ——试验结束后的无功电能，单位为千伏安时(kVAh)；

$E_{\text{Q0}}$ ——试验前的无功电能，单位为千伏安时(kVAh)。

注2：电能用连接在变压器一次侧的合适且经过校验的三相仪表测量。

d) 通电时间：在电极通电条件下测得的时间。

e) 冶炼周期：在特定条件下测得的运行时间。

**6.6 电极消耗**

液态金属单位质量(kg/t)电极消耗在5个连续试验炉次中测量。电极质量应由供应商和用户规定并协商一致。

试验中应扣除任何电极折损以及未规定的损耗。

$$g_{\text{el}} = \frac{G_{\text{el}}}{G} \dots\dots\dots(26)$$

式中：

$g_{\text{el}}$ ——倒出金属单位质量的电极消耗，单位为千克每吨(kg/t)；

$G_{\text{el}}$ ——试验炉次中的电极消耗量，单位为千克(kg)；

$G$ ——试验炉次中倒出材料的总质量，单位为吨(t)。

**6.7 相序**

应通过相序仪在变压器二次侧尽可能接近电极处测量相序。相序应为逆时针方向。

不正确的相序会使电极接头松动并可能因此导致电极折损。

**6.8 电弧炉-额定容量**

炉壳衬以耐火材料并处于热态。炉料(金属和添加物)和各项操作(熔化、埋弧加热、除渣、倾炉)应按供应商的建议。达到最终温度和成分之后倾炉。钢包内最终的金属质量应至少达到电弧炉的额定容量。

如果是使用底部出料系统的电弧炉，应考虑电弧炉内的留钢量。



参 考 文 献

- [1] IEC 60050(all parts) International Electrotechnical Vocabulary (available at <http://www.electropedia.org>)
- [2] IEC 60146-1-1:2009 Semiconductor convertors—General requirements and line commutated convertors—Part 1-1: Specifications of basic requirements
- [3] IEC 60683:2011 Industrial electroheating equipment—Test methods for submerged-arc furnaces
-



中华人民共和国  
国家标准  
电热和电磁处理装置的试验方法  
第2部分：直接电弧炉  
GB/T 10066.2—2019/IEC 60676:2011

\*

中国标准出版社出版发行  
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)  
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址: [www.spc.org.cn](http://www.spc.org.cn)

服务热线: 400-168-0010

2019年7月第一版

\*

书号: 155066·1-62910

版权专有 侵权必究



GB/T 10066.2-2019