



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 45116—2024/IEC 61788-26:2020

## 临界电流测量 REBCO 复合超导体的直流 临界电流测量

Critical current measurement—DC critical current of REBCO composite  
superconductors

(IEC 61788-26:2020, Superconductivity—Part 26: Critical current measurement—  
DC critical current of RE-Ba-Cu-O composite superconductors, IDT)

2024-12-31 发布

2025-07-01 实施

国家市场监督管理总局  
国家标准化管理委员会 发布

## 目 次

前言 .....	III
引言 .....	IV
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 原理 .....	2
5 装置 .....	2
5.1 总则 .....	2
5.2 临界电流测量系统 .....	2
6 样品准备和装置 .....	2
6.1 长度 .....	2
6.2 样品安装 .....	3
7 临界电流测量 .....	3
8 结果计算 .....	3
8.1 临界电流判据 .....	3
8.2 $n$ -值(可选) .....	4
9 测量不确定度 .....	4
10 测量报告 .....	4
10.1 样品信息 .....	4
10.2 临界电流值( $I_c$ ) .....	5
10.3 临界电流测量条件 .....	5
附录 A (资料性) 与测量、装置和计算相关的附加信息 .....	6
A.1 概要 .....	6
A.2 测量条件 .....	6
A.3 装置 .....	6
A.3.1 测量骨架材料 .....	6
A.3.2 测量骨架结构 .....	7
A.4 样品准备 .....	7
A.5 测量步骤 .....	7
A.5.1 电压引线 .....	7
A.5.2 冷却过程 .....	7
A.5.3 液氮浴温度 .....	8
A.5.4 系统噪声以及其他影响测量电压因素 .....	9

A.6	$n$ -值计算	9
附录 B (资料性)	REBCO $I_c$ 测量中合成标准不确定度的评估	10
B.1	临界电流的实际测量	10
B.2	模型方程	11
B.3	$I_c$ 测量结果	11
B.4	合成标准不确定度	13
B.5	B类不确定度评定	14
B.5.1	总则	14
B.5.2	$L_1$ 测量的不确定度	14
B.5.3	电压测量的不确定度	14
B.5.4	电流测量的不确定度	14
B.5.5	温度测量的不确定度	15
B.5.6	源自本征 $I_c$ 不均匀性的不确定度	16
B.5.7	A类和B类合成不确定度的比较	16
B.6	电流升流时间对总不确定度的影响	17
参考文献		18

## 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。

本文件等同采用 IEC 61788-26:2020《超导电性 第 26 部分：临界电流测量 REBCO 复合超导体的直流临界电流测量》。

本文件做了下列最小限度的编辑性改动：

- 修改文件名称为《临界电流测量 REBCO 复合超导体的直流临界电流测量》，将原文件名中的“RE-Ba-Cu-O”简写为“REBCO”；
- 在第 1 章范围中加了“注”；
- 在 6.2 条增加了注 1 和注 2。

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。

本文件由中国科学院提出。

本文件由全国超导标准化技术委员会(SAC/TC 265)归口。

本文件起草单位：上海超导科技股份有限公司、上海交通大学、中国科学院合肥物质科学研究院、中国科学院电工研究所、上海上创超导科技有限公司、上海大学、苏州新材料研究所有限公司、上海国际超导科技有限公司、西部超导材料科技股份有限公司、中国科学院物理研究所、甚磁科技(上海)有限公司。

本文件主要起草人：赵跃、姜广宇、张国民、刘方、蔡传兵、张永军、朱佳敏、陈思侃、韩云武、连建军、王玉山、闫果、李洁、史越。

## 引 言

1986年,研究人员发现一些钙钛矿型铜氧化物呈现超导电性,其转变温度远高于金属超导体。1987年发现Y-Ba-Cu-O (YBCO)的临界温度( $T_c$ )为93 K。约25年后,RE-Ba-Cu-O (REBCO, RE = 稀土)复合超导体开始商业化生产。

2013年,新材料和标准凡尔赛合作组织(VAMAS-TWA) 16开始研究REBCO复合超导体的临界电流测量方法。2014年,VAMAS-TWA 16组织了来自5个国家的10个机构/大学/企业开展了REBCO复合超导体临界电流测量方法的国际循环比对实验。VAMAS的预标准化工作是本文件的基础。

目前,REBCO复合超导体已进入商业化小批量生产阶段,全球已有20余家带材生产企业从事REBCO复合超导体的产业化工作。这类材料的实用化取得了重要进展,单根复合超导体制备长度达到百米量级,复合超导体载流能力也大幅提升。同时,国内外若干项重大高温超导示范工程也基于该种材料,如韩国济州岛的超导电缆、美国和英国的紧凑可控核聚变装置超导磁体,以及我国的超导电缆、限流器以及感应加热等项目。

本文件给出的测量方法旨在为超导技术领域工程技术人员提供合理、共识的技术依据。

# 临界电流测量 REBCO 复合超导体的直流 临界电流测量

## 1 范围

本文件描述了 RE-Ba-Cu-O(REBCO, RE=稀土)复合超导体直扁带短样直流临界电流的测量方法,给出了在通常测量中本方法所允许的偏差以及其他具体限定。

本文件适用于长度不大于 300 mm,横截面矩形面积为  $0.03 \text{ mm}^2 \sim 7.2 \text{ mm}^2$  的样品,相当于宽度为 1.0 mm~12.0 mm,厚度为 0.03 mm~0.6 mm 的复合超导体。复合超导体在标准测量环境下的  $I_c$  不大于 300 A, $n$ -值大于 5。

注:标准测量环境指测量过程中,被测样品浸泡在液氮中,没有外部磁场。

## 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。

IEC 60050-815 国际电工词汇(IEV) 第 815 部分:超导电性[International Electrotechnical Vocabulary(IEV)—Part 815:Superconductivity]

注 1: GB/T 2900.100—2017 电工术语 超导电性(IEC 60050-815:2015, IDT)

注 2: 在 <http://www.electropedia.org/> 可获得该文件。

## 3 术语和定义

IEC 60050-815 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

ISO 和 IEC 维护的用于标准化的术语数据库网址如下:

- IEC 电工百科:<http://www.electropedia.org/>
- ISO 在线浏览平台:<http://www.iso.org/obp/>

### 3.1

#### 恒定速率升流法 constant sweep rate method

以恒定升流速率为样品提供直流电流,使电流从零升到略大于  $I_c$  的过程中,以连续或一定的采样频率采集  $U-I$  数据的方法。

[来源:GB/T 18502—2018,3.7]

### 3.2

#### 升流-恒流-升流法 ramp-and-hold method

沿  $U-I$  曲线设定多个恰当的电流分布点,使电流从一个设定点升流到另一个设定点后,保持一定时间的恒流,同时记录若干相应的电流和电压值,然后继续升流到后续设定点,以获得  $U-I$  数据的方法。

[来源:GB/T 18502—2018,3.8]