

ICS 77.180
H 93



中华人民共和国国家标准

GB/T 33546—2017

电磁搅拌器通用技术条件

General technical standard of electromagnet stirrer

2017-03-09 发布

2018-02-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 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 产品型号及其含义	3
5 现场使用条件	4
6 技术要求	5
7 试验方法	6
8 检验规则	13
9 标志、使用说明书	14
10 包装、运输和贮存	14
附录 A (规范性附录) 绕组和冷却水额定热稳定温差检查	16
附录 B (规范性附录) 电磁力检查	17

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由中国机械工业联合会提出。

本标准由全国磁力材料及设备标准化工作组(SAC/SWG 12)、全国冶金设备标准化技术委员会(SAC/TC 409)共同归口。

本标准起草单位：湖南省磁力设备质量监督检验中心、中国重型机械研究院、岳阳市电磁制造行业协会、山东华特磁电科技股份有限公司、湖南中科电气股份有限公司、湖南科美达电气股份有限公司。

本标准起草人：李爱武、侯亚雄、甘安平、任正、王兆连、苏静、刘靓。

电磁搅拌器通用技术条件

1 范围

本标准规定了电磁搅拌器的术语和定义、产品型号、使用条件、技术要求、试验方法、检验规则、标志及使用说明、包装、运输和贮存。

本标准适用于各种坯形的连续铸钢(连铸)电磁搅拌器和钢、铝、铜熔炼炉电磁搅拌器,其他电磁搅拌器可参照执行。

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。

- GB 755—2008 旋转电机 定额和性能(IEC 60034-1:2004, IDT)
- GB/T 2521—2008 冷轧取向和无取向电工钢带(片)
- GB/T 2900.1 电工术语 基本术语
- GB/T 2900.18 电工术语 低压电器
- GB/T 3280—2015 不锈钢冷轧钢板和钢带
- GB/T 9969 工业产品使用说明书 总则
- GB/T 12467.4 金属材料熔焊质量要求 第4部分:基本质量要求
- GB/T 13306 标牌
- GB/T 13384 机电产品包装通用技术条件
- GB 14050 系统接地的型式及安全技术要求
- GB 14711—2013 中小型旋转电机通用安全要求
- JB/T 7601.8 电线电缆专用设备 基本技术要求 第8部分:表面处理

3 术语和定义

GB/T 2900.1、GB/T 2900.18 界定的以下列术语和定义适用于本文件。

3.1

电磁搅拌器 electromagnetic stirrer

利用电磁场在导电液体中感生的电磁力(洛伦兹力),推动导电液体作有规律运动的设备称为电磁搅拌器。

3.2

连铸电磁搅拌器 electromagnetic stirrer for continuous casting of steel

应用于连铸生产线上的电磁搅拌器。

3.3

熔炼炉电磁搅拌器 **electromagnetic stirrer for melting furnace**

应用于熔炼炉上的电磁搅拌器。

3.4

磁场形态 **form of magnetic field**

电磁搅拌器所激发磁场的运动形态,主要有旋转、行波、螺旋三种。

3.5

电磁搅拌器冷却水参数 **cooling water parameter of electromagnetic stirrer**

3.5.1

额定冷却水流量 **rated flow of cooling water**

电磁搅拌器在额定运行时出水口的冷却水流量。

3.5.2

额定冷却水压力 **rated pressure of cooling water**

电磁搅拌器在额定运行时进水口的冷却水压力。

3.5.3

进、出水口冷却水温度 **temperature of cooling water at inlet or exit**

电磁搅拌器在额定运行时进、出水口的冷却水温度。

3.5.4

进、出水口冷却水温差 **temperature difference of cooling water at inlet and exit**

电磁搅拌器在额定运行时进、出水口的冷却水温差。

3.6

绕组冷却方式 **cooling form of winding**

3.6.1

内冷式绕组 **internal cooling winding**

一种绕组,由包有绝缘材料的空心导体(紫铜管)绕制而成,冷却介质流经于空心导体内部,与被冷却导体直接接触。

3.6.2

外冷式绕组 **external cooling winding**

一种绕组,由包有绝缘材料的导体(紫铜线或带)绕制而成,冷却介质流经于绝缘材料外部,与被冷却导体不接触。

3.7

毫米铁柱 **mmFe**

毫米铁柱是直接用水柱高度的毫米数表示压强的单位,毫米铁柱与帕斯卡之间的换算:1 mmFe = 70 Pa。

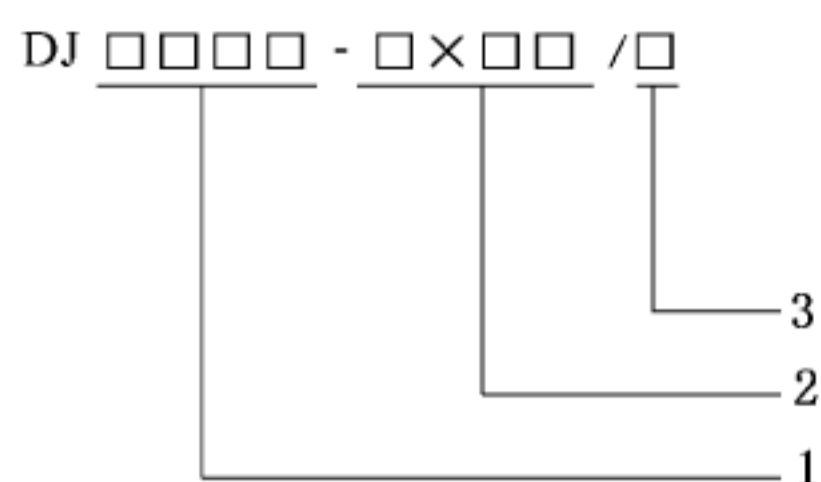
3.8

泄漏电阻 **leakage resistance**

加直流电压于绕组与机壳(地)之间,经过一定时间极化过程结束后,流过绕组与机壳之间的泄漏电流对应的电阻称泄漏电阻。

4 产品型号及其含义

4.1 产品型号标示



说明:

- 1——系列代码;
- 2——特征代码;
- 3——派生代码。

图 1 产品型号标示

产品型号由系列代码、特征代码、派生代码组成。系列代码与特征代码之间用“-”连接;特征代码与派生代码之间用“/”分开,若“/”后没有标注内容时则取消“/”符号。

4.2 产品型号组成

完整的产品型号由系列代码、特征代码和派生代码三部分组成,见图 1,其含义见表 1。

产品系列代码由产品代号、搅拌对象代号、安装位置代号、安装方式代号、磁场形式代号五部分组成,产品特征代码由工作面代号和冷却方式代号组成。

表 1 产品型号的含义

系列代码					特征代码		派生代码
产品代号	搅拌对象代号	安装位置代号	安装方式代号	磁场形式代号	工作面代号 (单位:厘米)	冷却方式代号	
DJ	“S”对象为钢,可不标注	“M”位置在连铸“结晶器”	“I”位置在结晶器内部	“R”旋转磁场	圆筒形工作面内径×高度	“I”绕组内冷式	当产品特征与标准型有差异或使用环境有差异时,用派生代码“A、B、C……”表示
	“A”对象为铝	“S”位置在连铸“二冷区”	“E”位置在结晶器外部	“T”行波磁场	弧形工作面高度×弧长(直径)	“E”绕组外冷式	
	“C”对象为铜	“F”位置在连铸“凝固末端”	“R”位置在支撑“辊”处	“H”螺旋磁场	方、矩形工作面长度×宽度	—	
	“O”对象为其他金属	“U”位置在“熔炼炉”处	“B”位置在支撑辊后面	—	—	—	
	—	—	“N”位置插在两排支撑辊之间	—	—	—	
	—	—	“T”位置在熔炼炉底部	—	—	—	
—	—	“S”位置在熔炼炉侧面	—	—	—		

4.3 产品型号示例

型号示例 1:

DJMIR-50×45I 表示:方、圆坯连铸结晶器内置式旋转磁场搅拌器系列,电磁搅拌器的内腔直径为 50 cm,高度为 45 cm,绕组为内冷式绕组。

型号示例 2:

DJSRT-250×24E 表示:板坯连铸二冷区辊式行波磁场搅拌器系列,电磁搅拌器的搅拌工作面积为 250 cm(长)×24 cm(直径),绕组为外冷式绕组。

型号示例 3:

DJAUST-250×200I 表示:铝熔炼炉炉侧电磁搅拌器系列,电磁搅拌器的搅拌工作面积为 250 cm(长)×200 cm(弧宽),绕组为内冷式绕组。

5 现场使用条件

5.1 冷却水水质

冷却水质应符合下列要求:

- a) pH 值:
 - 外冷式绕组:6.5~8.5;
 - 内冷式绕组:6.0~8.0;
- b) 电导率: $\leq 50 \mu\text{s}/\text{cm}$;
- c) 磁性微粒含量: $\leq 1.0 \text{ mg}/\text{L}$;
- d) 悬浮物含量: $\leq 20 \text{ mg}/\text{L}$;
- e) 悬浮物尺寸:
 - 外冷式绕组: $\leq 20 \mu\text{m}$;
 - 内冷式绕组: $\leq 5 \mu\text{m}$;
- f) 固体微粒含量: $\leq 5.0 \text{ mg}/\text{L}$;
- g) 氯气: $< 2.0 \text{ mg}/\text{L}$;
- h) 氯化物含量: $< 1.0 \text{ mg}/\text{L}$;
- i) 碳酸盐含量: $< 1.0 \text{ mg}/\text{L}$;
- j) 硫化氢: $< 0.1 \text{ mg}/\text{L}$ 。

5.2 进水口冷却水温度

$5 \text{ }^\circ\text{C} \leq \text{进水口冷却水温度} \leq 40 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

5.3 出水口冷却水流量

电磁搅拌器冷却水额定流量值的 $80\% \leq \text{出水口冷却水流量} \leq \text{电磁搅拌器冷却水额定流量值}$ 的 150% 。

5.4 进水口冷却水压力

电磁搅拌器冷却水额定压力值的 $80\% \leq \text{进水口冷却水压力} \leq \text{电磁搅拌器冷却水额定压力值}$ 的 120% 。

5.5 电磁搅拌器专用变频电源的要求

5.5.1 变频电源输出电压值 $\geq \text{电磁搅拌器额定电压值的 } 105\%$ 。

- 5.5.2 变频电源输出电流值 \geq 电磁搅拌器额定电流值的105%。
- 5.5.3 电流控制精度 \leq 电磁搅拌器额定电流值的2%。
- 5.5.4 变频电源频率应在电磁搅拌器额定频率值的 $\pm 60\%$ 之间连续可调；频率控制精度 $\leq \pm 0.1$ Hz。
- 5.5.5 变频电源输出电流波形的非正弦畸变率不应超过5%，即其中高次谐波含量不应超过5%。

6 技术要求

6.1 结构要求

- 6.1.1 电磁搅拌器的铁芯材料宜选用符合 GB/T 2521—2008 要求的冷轧电工钢板。
- 6.1.2 电磁搅拌器的壳体材料宜选用全奥氏体不锈钢，其中直接受红热铸坯辐射的壳体材料宜选用耐热高镍铬全奥氏体不锈钢并符合 GB/T 3280—2015 冷轧不锈钢要求。
- 6.1.3 电磁搅拌器的焊缝质量要求应符合 GB/T 12467.4 的规定。
- 6.1.4 接线端子应符合 GB 14711—2013 接线端子的技术要求。
- 6.1.5 电气间隙与爬电距离应符合 GB 14711—2013 电气间隙与爬电距离的技术要求。
- 6.1.6 内冷式绕组电磁搅拌器的壳体，气压试验后应无变形现象。试验条件同 6.2.3。
- 6.1.7 外冷式绕组电磁搅拌器的壳体，水压试验后应无变形现象。试验条件同 6.2.1。
- 6.1.8 内冷式绕组二冷区和凝固末端电磁搅拌器的内壳体夹层，水压试验后应无变形现象。试验条件同 6.2.5。

6.2 密封性要求

- 6.2.1 外冷式绕组电磁搅拌器的壳体、接线端子在 1.25 倍额定水压力并保压 30 min 应无压降。
- 6.2.2 内冷式绕组电磁搅拌器的绕组在 1.5 倍额定水压力并保压 60 min 应无压降。
- 6.2.3 内冷式绕组结晶器内置电磁搅拌器的壳体在 0.3 MPa 干燥气体压力并保压 120 min 应无压降。
- 6.2.4 内冷式绕组结晶器外置和凝固末端电磁搅拌器的壳体在 0.3 MPa 干燥气体压力条件下各焊缝无气体泄漏现象。
- 6.2.5 内冷式绕组二冷区和凝固末端电磁搅拌器的内壳体夹层在 1.25 倍额定水压力并保压 30 min 应无压降。

6.3 绕组浸水后在实际冷状态下的绝缘性要求

- 6.3.1 外冷式绕组电磁搅拌器在绕组浸水 24 h 后，绝缘电阻应 ≥ 20 M Ω ；长时间使用后，泄露电阻应 ≥ 200 Ω 。
- 6.3.2 内冷式绕组电磁搅拌器在绕组干燥后，绝缘电阻应 ≥ 200 M Ω ；长时间使用后，绝缘电阻应 ≥ 5 k Ω 。

6.4 绕组各相直流电阻要求

- 6.4.1 旋转磁场电磁搅拌器在实际冷状态下的各相绕组的直流电阻实测值与设计值的偏差应小于 2% 且其不平衡率应小于 2%。
- 6.4.2 行波磁场电磁搅拌器在实际冷状态下的各相绕组的直流电阻实测值与设计值的偏差应小于 2%。

6.5 绕组在实际冷状态下的耐电压要求

内冷式绕组电磁搅拌器，其绕组干燥后，交流 50 Hz 正弦波耐电压试验值应符合 GB 755—2008 中表 16 项号 2 的要求，持续 1 min，应无击穿或闪络现象。

6.6 绕组的短时升高电压要求

电磁搅拌器绕组通水运行后,升高电压试验时,允许调节电源频率来控制激磁电流不超过额定值,在 1.3 倍额定电压的短时升高电压试验并持续 3 min 应无异常现象。

6.7 磁感应强度要求

电磁搅拌器激发的磁感应强度,在额定激磁电流下,不得小于相关标准规定值的 90%。

6.8 电磁力要求

6.8.1 旋转磁场搅拌器的电磁力矩,在额定频率和激磁电流下,不得小于相关标准规定值的 90%。

6.8.2 同向行波磁场搅拌器的中心推力,在额定频率和激磁电流下,不得小于相关标准规定值的 90%。

6.8.3 异向行波磁场搅拌器在离搅拌器表面 c (安装气隙)+15 mm 处的电磁推力,在额定频率和激磁电流下,不得小于相关标准规定值的 90%。

6.9 正常工作状态时的冷却水温度差

6.9.1 外冷式绕组电磁搅拌器的绕组冷却水的进、出水口温度差应 ≤ 15 °C;

6.9.2 内冷式绕组电磁搅拌器的绕组冷却水的进、出水口温度差应 ≤ 30 °C;

6.9.3 内冷式绕组电磁搅拌器的内壳体夹层冷却水的进、出水口温度差应 ≤ 20 °C。

6.10 漏磁

6.10.1 方坯、圆坯、矩形坯、异形坯用旋转或螺旋磁场电磁搅拌器的漏磁,在额定频率和激磁电流时,离搅拌器表面 100 mm 处不得超过相关标准规定值的 110%。

6.10.2 板坯辊式电磁搅拌器的漏磁,在额定频率和激磁电流时,离搅拌器表面 100 mm 处不得超过相关标准规定值的 110%。

6.10.3 板坯插入式、辊后式等电磁搅拌器的漏磁,在额定频率和激磁电流时,离搅拌器表面 100 mm 处不得超过相关标准规定值的 110%。

6.11 接地

电磁搅拌器的接地应符合 GB 14050 的规定。

6.12 外观质量要求

6.12.1 电磁搅拌器壳体为不锈钢材料时,应作酸洗钝化处理或喷丸处理,也可作涂漆处理,作涂漆处理时,其质量应符合 JB/T 7601.8 规定。

6.12.2 紧固件配齐,外表无刺目焊疤和扎手等缺陷。

7 试验方法

7.1 外观检查

7.1.1 目测、尺量焊缝质量,应无未熔合、裂纹、火口、气孔、夹渣等现象,焊缝尺寸符合图样规定。

7.1.2 有接地接口和明显的接地标志。

7.1.3 酸洗钝化或喷丸表面,应无斑块现象;油漆表面质量应符合 JB/T 7601.8 的规定。

7.1.4 油漆颜色,应符合客户标准要求。

7.1.5 紧固件应完整齐全,外表不应有刺目焊疤和扎手等缺陷。

- 7.1.6 引出线端子应用防雨包扎,并固定在壳体上。
- 7.1.7 标牌各栏数据已填并与型号相符。
- 7.1.8 电磁搅拌器经密封压力试验后,目测壳体无凹凸变形现象、法兰与盖板紧固后能起密封作用。
- 7.1.9 冷却水进水口应用文字“进水口”或“IN”表示;冷却水出水口应用文字“出水口”或“OUT”表示。
- 7.1.10 如电磁搅拌器安装方式不能清楚的表明电磁搅拌器的安装方向和顺序时,应在电磁搅拌器壳体上的醒目部位用箭头标志表明铸坯的拉坯方向,同时用文字“拉坯方向”表示。

7.2 结构检查

- 7.2.1 用光谱仪分析电磁搅拌器所用硅钢的材质,用磁性材料性能检测仪分析电磁搅拌器所用硅钢的磁化曲线,应符合 GB/T 2521—2008 冷轧电工钢板的规定。
- 7.2.2 用光谱仪分析电磁搅拌器所用不锈钢的材质,应符合 GB/T 3280—2015 冷轧不锈钢的规定,用钕铁硼永磁块检验应无吸附现象。
- 7.2.3 按 GB 14711—2013 规定的检验方法,检查接线端子、电气间隙和爬电距离。

7.3 密封性检查

7.3.1 试验条件

试验水应符合 5.1 冷却水水质要求,实验气体用干燥的空气或氮气。电磁搅拌器整体组装完成后,堵塞出水口,在进水口安装压力表,通过进水口加入实验水或实验气体;

7.3.2 试验过程

按照 6.2 的规定选择试验压力值,均匀调升试验压力,每调升一次水压后稳压 10 s,保持调节过程中无冲击。压力试验在持续时间内无压降为试验合格。

7.4 绕组通水后在实际冷态下绝缘电阻检查

7.4.1 试验条件

在 7.3 试验合格状态下,根据电磁搅拌器的额定电压,按表 2 选用兆欧表进行实验。

表 2 绝缘检测仪器的选择

搅拌器的额定电压	兆欧表规格
500 V 以下	500 V、500 M Ω , \leq 1.5 级
500 V~1 000 V	1 000 V、1 000 M Ω , \leq 1.5 级

7.4.2 试验方法

根据电磁搅拌器的冷却方式,分别采用以下对应的试验方法进行试验。

a) 外冷式绕组电磁搅拌器的绝缘电阻检查

将电磁搅拌器内腔充满实验水,在冷却水压力为额定压力条件下进行绕组绝缘电阻检查。电磁搅拌器各相绕组的始末端均引出机壳外时,应分别测量每相绕组对机壳及其相间的绝缘电阻。如果各相绕组在搅拌器内部已连接,只有各相的始端或末端引出机壳外时,则只需测量任意相绕组对机壳的绝缘电阻即可。

b) 内冷式绕组电磁搅拌器的绝缘电阻检查

在电磁搅拌器绕组重新干燥的条件下进行绝缘电阻检查。电磁搅拌器各相绕组的始末端均引出机壳外时,应分别测量每相绕组对机壳及其相间的绝缘电阻。如果各相绕组在搅拌器内部已连接,只有各相始端或末端引出机壳外时,则只需测量任意相绕组对机壳的绝缘电阻即可。

7.5 绕组在实际冷态下各相直流电阻检查

7.5.1 电磁搅拌器绕组的各相直流电阻用双臂电桥测量,双臂电桥的精度为不低于 1.0 级。

7.5.2 测量时,应在电磁搅拌器绕组的两个出线端上测量。每一电阻测量需重复三次,每次读数与三次读数平均值之差应在±0.5%范围内,取其平均值作为直流电阻的测量值。

7.5.3 当电磁搅拌器每相绕组始末端都引出时,直接测量每相绕组的直流电阻。

7.5.4 当电磁搅拌器三相绕组已在内部连接成星形接法时,则在每两个出线端间测量电阻,各相电阻值(Ω)按式(1)、式(2)、式(3)计算:

$$R_U = R_d - R_{vw} \dots\dots\dots(1)$$

$$R_V = R_d - R_{wu} \dots\dots\dots(2)$$

$$R_W = R_d - R_{uv} \dots\dots\dots(3)$$

式中:

- R_{vw} ——出线端 V 与 W 间测得的电阻值,单位为欧姆(Ω);
- R_{wu} ——出线端 W 与 U 间测得的电阻值,单位为欧姆(Ω);
- R_{uv} ——出线端 U 与 V 间测得的电阻值,单位为欧姆(Ω);
- R_d ——中间变量, $R_d = (R_{uv} + R_{vw} + R_{wu})/2$,单位为欧姆(Ω)。

直流电阻不平衡率按式(4)计算:

$$A = (| R_{max} \text{ 或 } R_{min} - R_0 | / R_0) \times 100\% \dots\dots\dots(4)$$

式中:

- A ——电阻不平衡率;
- R_{max}, R_{min} ——直流相电阻值中最大或最小值,单位为欧姆(Ω);
- R_0 ——相电阻的算术平均值(各相电阻值之和/相数),单位为欧姆(Ω)。

7.6 绕组在实际冷态下的耐电压检查

7.6.1 内冷式绕组电磁搅拌器的耐电压检查

7.6.1.1 试验条件

将电磁搅拌器绕组干燥后进行。施加的交流 50 Hz 正弦波耐电压检查值按 GB 755—2008 中表 16 项号 2 的要求进行。

7.6.1.2 试验过程

试验时电压应施于绕组与机壳之间。若每相绕组的两端均单独引出时,其他不参与试验的绕组均应和铁芯或机壳连接。对每相绕组逐一进行试验,试验时施加的电压应从不超过试验电压全值的一半开始,然后稳步地或分段地以每段不超过全值的 5%增加至全值。电压自半值增加至全值的时间应不少于 10 s。全值电压试验时间应维持 1 min 而无击穿或闪络现象。

7.6.2 外冷式绕组电磁搅拌器泄漏电阻的测试

7.6.2.1 试验条件

泄漏电阻测试应在 7.2.3、7.3 检验合格后,绕组置于额定冷却水压力下的实验水中浸泡≥24 h,在

额定冷却水压力下,施加于绕组与机壳之间的直流电压为 $U=110\text{ V}$ 并持续 1 min。

7.6.2.2 试验过程

测试接线原理图如图 2 所示:

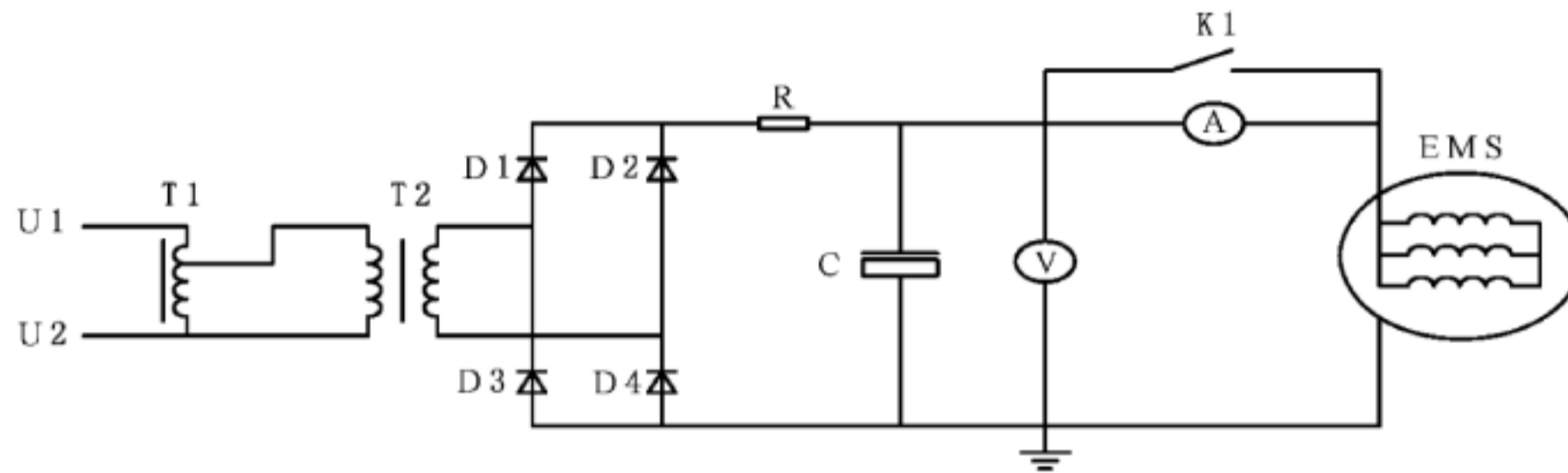


图 2 电磁搅拌器绕组浸水泄漏电阻测试接线原理图

图中元器件:

- T1 ——调压变压器;
- T2 ——升压变压器;
- R ——限流保护电阻;
- C ——电容器;
- D1~D4 ——整流器;
- A ——毫安表或微安表;
- V ——直流电压表;
- K1 ——开关;
- EMS ——被测试电磁搅拌器。

测试时调节调压器均匀升压。测试过程中电压应逐渐上升,例如 $0.2 U$ 、 $0.5 U$ 、 $0.75 U$ ……至规定电压值。每升一段电压待电流表指针稳定后,停 1 min,读取记录电流值,试验结束切断电源,将被试绕组对地放电。

7.6.2.3 泄漏电阻值 $R_x(\Omega)$ 按式(5)计算:

$$R_x = U/I \quad \dots\dots\dots(5)$$

式中:

- U ——施加直流电压值,单位为伏特(V);
- I ——读取直流电流值,单位为安培(A)。

7.7 短时升高电压检查

7.7.1 试验条件

应在 7.6 试验合格后,电磁搅拌器处于无搅拌对象即空载状态,使用电磁搅拌器专用交直交变频电源进行试验,变频电源应符合 5.5 要求。

7.7.2 试验方法

电磁搅拌器中通入额定压力、额定流量的实验水;试验电压数值按 6.6 的规定,升高电压试验时,允许调节电源频率来控制电流不超过额定值,持续 3 min 应无异常现象。

7.8 磁感应强度测试

7.8.1 试验条件

在 7.7 检验合格后,电磁搅拌器处于无搅拌对象即空载状态,在电磁搅拌器中通入额定压力、额定

流量的实验水。对外冷式绕组电磁搅拌器应保证其内腔充盈而无空穴。试验所使用的电磁搅拌器专用变频电源应符合 5.5 要求并使用低频磁感应强度测试仪或低频高斯计(最低响应频率 ≤ 1 Hz)。

7.8.2 试验方法

磁感应强度测量法。测量传感器的探头应平行于该搅拌器的工作面。

7.8.3 试验过程

调整专用变频电源,控制频率和电流给定旋钮,使馈给电磁搅拌器的电源频率和电流分别单独调整。

- a) 固定某一频率,分挡次调节电流强度直至额定值。按 7.8.5 测得磁感应强度幅值随电流强度变化的规律;
- b) 固定某一电流强度,分挡次调节频率直至额定值。按 7.8.5 测得磁感应强度幅值随频率变化的规律。

7.8.4 测量值的转换

磁感应强度测试仪或低频高斯计测得的磁感应强度值分别以幅值、平均值和有效值标出,应统一转换成幅值。三者的关系按式(6)计算:

$$B_{\text{幅值}} = \sqrt{2} B_{\text{有效}} = \pi/2 B_{\text{平均}} \quad \text{或} \quad B_{\text{幅值}} = 1.41 B_{\text{有效}} = 1.57 B_{\text{平均}} \quad \dots\dots\dots(6)$$

7.8.5 测量点布置

7.8.5.1 方坯、圆坯、矩形坯、异形坯等旋转或螺旋磁场搅拌器的磁感应强度测量

7.8.5.1.1 磁感应强度轴向分布的测量

7.8.5.1.1.1 测量点布置:

找出电磁搅拌器的几何中心轴线,从其上端面与中心轴线的交点开始每隔 20 mm 布置一个测量点,沿着中心轴线往下逐点测量,直至达到或超出电磁搅拌器下端面与中心轴线的交点为止。

7.8.5.1.1.2 测量值处理:

测量完成后,以表格和曲线给出磁感应强度幅值沿中心轴线上的分布。

7.8.5.1.2 磁感应强度周向分布的测量

7.8.5.1.2.1 测量点布置:

- a) 在搅拌器几何高度的一半处,构建一个与中心轴线相垂直的中心平面;
- b) 在中心平面上,以中心轴线与中心平面的交点为圆心,构建三个同心圆:第一个同心圆半径为电磁搅拌器的内半径(即电磁搅拌器的内筒半径);第二个为电磁搅拌器内半径的 2/3;第三个为电磁搅拌器内半径的 1/3。再分别在三个同心圆的圆周上均布 6 的 4 倍或以上倍数的测量点,三个同心圆上的测量点必须都在同一条半径上。然后逐点进行测量。

7.8.5.1.2.2 测量值处理:

- a) 测量完成后以表格和曲线给出磁感应强度幅值在三个不同半径的圆周上的分布;
- b) 分别求出每个圆周上所有测量点的磁感应强度的算术平均值,连同圆心处的测量值,以表格或曲线标出平均周向磁感应强度幅值随半径的变化。

7.8.5.2 板坯双面行波磁场搅拌器的磁感应强度测量

7.8.5.2.1 测量准备

测量准备如下：

- a) 将标记有 L(内弧)侧和 F(外弧)侧的双面行波磁场搅拌器的工作面平行对置并垂直于水平测试平台,且行波磁场运行方向平行于水平测试平台,对置距离 d 根据电磁搅拌器型式予以调整:
 - 1) 辊式 EMS:对置距离 d 等于板坯最大厚度 t 即 $d=t$;
 - 2) 插入式 EMS:对置距离 d 等于板坯最大厚度 t 加两侧的安装气隙 c 即 $d=t+2c$;
- b) 在 L 侧和 F 侧的工作面上分别画出水平中心线和垂直中心线;
- c) 由 L 侧和 F 侧的工作面上两条水平中心线围成的平面区域定义为“水平测量面”,由两条垂直中心线围成的平面区域定义为“垂直测量面”,两个测量面互相垂直;
- d) 在“水平测量面”上分别画出水平中心线和垂直中心线。水平中心线平行于行波磁场方向,定义为 X 轴;垂直中心线垂直于行波磁场方向,定义为 Y 轴;与两者相垂直的为 Z 轴;三个轴的交点为坐标原点。

7.8.5.2.2 磁感应强度沿 X 轴和 Y 轴分布的测量

7.8.5.2.2.1 测量点布置:

在“水平测量面”上分别画出 7 条等间距的平行于 X 轴的经线和 N (N 的数值为磁极数的 3 倍或以上)条等间距的平行于 Y 轴的纬线,构建一个测量网格,其交叉点为 A_{ij} 。下标 i 表示沿 X 轴测量,下标 j 表示沿 Y 轴测量。X 轴经线与 Y 轴纬线的首尾 2 条线分别与“水平测量面”的 4 条周边重合。测量时逐个测量网格的每个交叉点 A_{ij} 。

7.8.5.2.2.2 测量值处理:

- a) 测量完成后以表格和曲线给出磁感应强度幅值在“水平测量面”上的分布;
- b) 将每条平行于 X 轴的所有测量点的测量值求算术平均值,以表格或曲线给出平均磁感应强度幅值沿 Y 轴的变化规律。

7.8.5.2.3 磁感应强度沿 Z 轴分布的测量

从坐标原点开始沿着 Z 轴分别向上和向下每隔 20 mm 布置一个测量点逐点进行测量,直至超出“垂直测量面”的上下周边为止。测量完成后以表格和曲线给出磁感应强度幅值沿 Z 轴的分布。

7.8.5.3 板坯辊后式单面行波磁场搅拌器的磁感应强度测量

7.8.5.3.1 测量准备

测量准备如下：

- a) 构建一个与单面行波磁场搅拌器的工作面(或弧形工作面决定的玄平面)相垂直的水平测试平台,且行波磁场方向平行于水平测试平台。在工作面上画出平行于行波磁场方向的水平中心线和与其相垂直的垂直中心线;
- b) 从工作上的水平中心线出发,构建一个与工作面相垂直的以水平中心线长度为界的“水平中心面”。在该“水平中心面”上画出由铸坯内外弧边界线围成的“水平测量面”。铸坯内外弧边界线离电磁搅拌器工作面的距离分别为 $c+r$ 和 $c+r+t$,其中 c 为安装气隙, r 为支承辊的辊

径, t 为板坯最大厚度;

- c) 在“水平测量面”上分别画出水平中心线和垂直中心线。水平中心线平行于行波磁场方向, 定义为 X 轴; 垂直中心线垂直于行波磁场方向, 定义为 Y 轴; 与两者相垂直的为 Z 轴; 三个轴的交点为坐标原点。

7.8.5.3.2 磁感应强度沿 X 轴和 Y 轴分布的测量

7.8.5.3.2.1 测量点布置:

在“水平测量面”上分别画出 7 条等间距的平行于 X 轴的经线和 N (N 的数值为磁极数的 3 倍或以上) 条等间距的平行于 Y 轴的纬线, 构建一个测量网格, 其交叉点为 A_{ij} 。下标 i 表示沿 X 轴测量, 下标 j 表示沿 Y 轴测量。X 轴经线与 Y 轴纬线的首尾 2 条线分别与“水平测量面”的 4 条周边重合。测量时逐个测量网格的每个交叉点 A_{ij} 。

7.8.5.3.2.2 测量值处理:

测量完成后以表格和曲线给出磁感应强度幅值在“水平测量面”上的分布。

7.8.5.3.3 磁感应强度沿 Z 轴分布测量

从坐标原点开始沿着 Z 轴分别向上和向下每隔 20 mm 布置一个测量点逐点进行测量, 直至超出“垂直测量面”的上下周边为止。测量完成后以表格和曲线给出磁感应强度幅值沿 Z 轴向的分布。

7.8.5.4 熔炼炉电磁搅拌器的磁感应强度测量

根据搅拌对象的电导率、真空磁导率和电源频率按式(7)计算出磁场透入导电液体的渗透厚度 δ :

$$\delta = \sqrt{(2/\mu_0\sigma\omega)} \dots\dots\dots(7)$$

式中:

μ_0 ——真空磁导率 = $4\pi \times 10^{-7}$, 单位为亨利每米(H/m);

σ ——电导率, 单位为西门子每米(S/m);

ω ——角频率, $\omega = 2\pi f$;

f ——电源频率, 单位为赫兹(Hz)。

构建一个平行于搅拌器工作面的测量平台, 该测量平台距搅拌器工作面的距离为 $d = c + t + \delta/2$, 其中 c —安装气隙, t —炉壁厚度含金属炉壁和耐火材料炉衬, δ —渗透厚度。在测量平台上画出与工作表面中心线和行波磁场运动方向平行的一条中心线, 沿该中心线均布至少 3 倍磁场极数或以上的测量点。测量时测量仪表的探头平面应平行于电磁搅拌器的工作面。将所测得的一组数据进行算术平均, 其算术平均值即为该台电磁搅拌器激发的磁感应强度的实测值, 转换成幅值后以表格和曲线表出。

7.9 绕组和冷却水额定热稳定温差检查

电磁搅拌器绕组和冷却水额定热稳定温差检查详见附录 A。

7.10 电磁力检查

电磁搅拌器的电磁力检查详见附录 B。

7.11 漏磁检查

电磁搅拌器应进行漏磁检查, 不得大于标准值的 110%, 见 6.10。

8 检验规则

8.1 检验分类

电磁搅拌器的检验分为出厂检验和型式检验。

8.2 出厂检验

8.2.1 每台电磁搅拌器需经制造厂质量检验部门检验合格后方可出厂。

8.2.2 出厂检验项目见表 2 出厂检验部分。

8.3 型式检验

8.3.1 有下列情况之一时,电磁搅拌器应进行型式检验。

- a) 新产品试制或老产品转厂生产时;
- b) 当产品结构、工艺或所使用的材料有重大改变,可能影响产品性能时;
- c) 正常生产每隔 3 年;
- d) 产品停产 1 年以上恢复生产时;
- e) 国家质量监督机构提出型式检验的要求时;
- f) 出厂检验与上次型式检验有较大差异时。

8.3.2 型式检验应从出厂检验合格的产品中任选一台进行,如果检验不合格则应加倍抽检,仍不合格者则判定型式检验不合格。

8.3.3 型式检验应符合本标准和相应系列标准的全部要求。

8.3.4 绕组在实际冷态下的耐电压试验,如果用户要求重试时,允许再进行一次试验,但试验电压应为原试验电压的 80%。

8.3.5 型式检验项目的检验内容见表 3 出厂检验和型式检验部分。

表 3 检验项目

序号	检验项目	条款号			
		出厂检验		型式检验	
		技术要求	试验方法	技术要求	试验方法
1	外观检查	6.1.3	7.1.1	—	—
2		6.11	7.1.2	—	—
3		6.12.1	7.1.3、7.1.4	—	—
4		6.12.2	7.1.5	—	—
5		9.1	7.1.7	—	—
6		9.2	7.1.9	—	—
7		9.3	7.1.10	—	—
8	结构检查	6.1.6	7.1.8	6.1.1	7.2.1
9		6.1.7	7.1.8	6.1.2	7.2.2
10		6.1.8	7.1.8	6.1.4	7.2.3
11		—	—	6.1.5	7.2.4

表 3 (续)

序号	检验项目	条款号			
		出厂检验		型式检验	
		技术要求	试验方法	技术要求	试验方法
12	密封检查	6.2	7.3	—	—
13	性能检查	6.3	7.4	6.4	8.5
14		6.5	7.6	6.6	8.7
15		6.7	7.8.5.1.1、 7.8.5.2.3、 7.8.5.3.3	6.7	7.8.5.1.2、 7.8.5.2.2、 7.8.5.3.2、 7.8.5.4
16		6.8	7.10	6.9	7.9
17		—	—	6.10	7.11

9 标志、使用说明书

9.1 铭牌标志

9.1.1 每台电磁搅拌器应在明显位置设置耐久而不易腐 的铭牌,产品铭牌应符合 GB/T 13306 的规定。

9.1.2 产品铭牌应标明下列内容:

- a) 制造厂名称和地址;
- b) 产品名称和型号;
- c) 产品的主要技术参数;
- d) 产品执行的标准号;
- e) 出厂编号和日期。

9.2 冷却水进、出水口标志

每台电磁搅拌器在冷却水进、出水口位置应设置明显的标志。

9.3 拉坯方向标志

如电磁搅拌器安装方式不能清楚的表明电磁搅拌器的安装方向和顺序时,应在电磁搅拌器壳体上的醒目部位进行标示。

9.4 产品使用说明书

产品使用说明书应符合 GB/T 9969 的规定。

10 包装、运输和贮存

10.1 包装

10.1.1 除客户特殊要求外,宜采用封闭包装。包装应符合 GB/T 13384 的要求外,还应符合坚固耐震、

通风防雨、水陆运输的要求。

10.1.2 包装箱外壁应有明显的文字标记,其内容包括:

- a) 产品名称、型号;
- b) 毛重、净重、外形尺寸;
- c) 重心、起吊线和储运图示标志。

10.1.3 电磁搅拌器应随机附带下列技术文件:

- a) 产品装箱单;
- b) 产品质量合格证明文件;
- c) 产品使用说明书;
- d) 配套件的合格证及说明书。

10.1.4 技术文件应装入文件内。

10.2 运输

电磁搅拌器在运输途中,不得因挤压、刹车、颠簸使之变形或损坏。

10.3 贮存

10.3.1 电磁搅拌器贮存于通风、干燥的库房中。

10.3.2 电磁搅拌器应单台平放,禁止倒置或置于倾斜角度大于 30° 的地方。

10.3.3 电磁搅拌器在贮存时,应将电磁搅拌器内的冷却水放净,进、出水口封闭。

10.3.4 电磁搅拌器每存放一年,进行一次养护。

附 录 A

(规范性附录)

绕组和冷却水额定热稳定温差检查

A.1 检查仪器:

铂电阻指针式温度表、水银温度计、双臂电桥、数显压力表、数显流量计。以上仪表计量精度等级不低于 1.5。

A.2 测试条件:

测试应在 7.7 测试合格状态下才能进行。试验时电磁搅拌器必须通入额定压力、额定流量的实验水并且使用电磁搅拌器专用变频电源。

A.3 检查方法:

检查方法为电阻法,步骤如下:

- a) 电磁搅拌器在加入循环冷却水(实验水)不通电的条件下,测量绕组相电阻 $R_1(\Omega)$ 及此时的冷却水出口温度 $T_1(^{\circ}\text{C})$;
- b) 电磁搅拌器通入额定冷却水流量、额定冷却水压力、额定电流和额定频率时,待循环冷却水温升热稳定后,测量冷却水入口水温 $T_{01}(^{\circ}\text{C})$ 和出口水温 $T_{02}(^{\circ}\text{C})$;
- c) 电流中断后,立即测量绕组相电阻 $R_2(\Omega)$;
- d) 停机时间的修正按 GB 755—2008 中 8.6.2.3 的规定。

A.4 按式(A.1)计算冷却水温升($^{\circ}\text{C}$):

$$\Delta T_s = T_{02} - T_{01} \dots\dots\dots(\text{A.1})$$

式中:

- ΔT_s ——冷却水温升,单位为摄氏度($^{\circ}\text{C}$);
- T_{01} ——冷却水温升热稳定后试验结束时的冷却水入口水温,单位为摄氏度($^{\circ}\text{C}$);
- T_{02} ——冷却水温升热稳定后试验结束时的冷却水出口水温,单位为摄氏度($^{\circ}\text{C}$)。

A.5 按式(A.2)计算试验结束时绕组的温度:

$$T_2 = (R_2 - R_1) \times (T_1 + K) / R_1 + T_1 \dots\dots\dots(\text{A.2})$$

式中:

- T_1 ——绕组初始温度,单位为摄氏度($^{\circ}\text{C}$);
- T_2 ——冷却水温升热稳定后试验结束时绕组的温度,单位为摄氏度($^{\circ}\text{C}$);
- R_1 ——绕组温度为 T_1 时的绕组相电阻值,单位为摄氏度($^{\circ}\text{C}$);
- R_2 ——试验结束时的绕组相电阻值,单位为摄氏度($^{\circ}\text{C}$);
- K ——导电材料在 0°C 时电阻温度系数的倒数,铜: $K = 234.5$ 。

A.6 按式(A.3)计算绕组温升($^{\circ}\text{C}$):

$$\Delta T_R = T_2 - T_{01} \dots\dots\dots(\text{A.3})$$

式中:

- ΔT_R ——绕组温升,单位为摄氏度($^{\circ}\text{C}$)。

A.7 对每相绕组应分别进行测试。

附 录 B
(规范性附录)
电磁力检查

B.1 试验条件

测量应在 7.8 测试合格状态下进行。测量时模拟实际使用工况,电磁搅拌器处于模拟搅拌对象(如测试头、薄铜板)状态。电磁搅拌器必须通入额定压力、额定流量的实验冷却水并使用电磁搅拌器专用变频电源供电,其性能符合 5.5 的规定。

B.2 试验方法

根据电磁搅拌器的工作面,分别采用以下对应的试验方法进行试验。

- a) 对于方坯、圆坯、矩形坯、异形坯等旋转磁场或螺旋磁场搅拌器,采用铝筒测试头模拟铸坯的电磁力矩测量法;
- b) 对于板坯结晶器行波磁场搅拌器、板坯二冷区行波磁场搅拌器,采用薄铜板模拟板坯的电磁推力测量法。

B.3 试验仪器**B.3.1 电磁力矩测量装置****B.3.1.1 装置构成**

电磁力矩测量装置由铝筒测试头(受力体)、扭矩传感器和二次仪表组成,精度等级 ≤ 1.0 级。

B.3.1.2 测试头材质和规格

测试头材质和规格如下:

- a) 测试头材质为纯铝(电导率: 3.53×10^7 S/m);
- b) 规格分四种: $\phi 200 \times 8$ (壁厚) $\times 150$ (高)、 $\phi 150 \times 8$ (壁厚) $\times 150$ (高)、 $\phi 100 \times 6$ (壁厚) $\times 150$ (高)和 $\phi 60 \times 6$ (壁厚) $\times 150$ (高),单位:mm。

B.3.1.3 适用范围

适用范围如下:

- a) $\phi 200$ mm 测试头用于内径大于 1 200 mm 的电磁搅拌器测试;
- b) $\phi 150$ mm 测试头用于内径大于 800 mm 小于或等于 1 200 mm 的电磁搅拌器测试;
- c) $\phi 100$ mm 测试头用于内径大于 500 mm 小于或等于 800 mm 的电磁搅拌器测试;
- d) $\phi 60$ mm 测试头用于内径小于或等于 500 mm 的电磁搅拌器测试。

B.3.2 电磁推力测量装置**B.3.2.1 装置构成**

电磁推力(或拉力)测量装置由测试薄铜板(受力体)、拉力传感器和二次仪表组成,精度等

级≤1.0 级。

B.3.2.2 受力体材质和规格

受力体材质和规格如下：

- a) 薄铜板的材质为 H68(电导率: 1.6×10^7 S/m)；
- b) 规格分三种: 2(厚度)×250(宽度)×2 000(长度)、2(厚度)×250(宽度)×1 500(长度)和 2(厚度)×250(宽度)×1 000(长度), 单位: mm。

B.3.2.3 适用范围

适用范围如下：

- a) 2×250×2 000 铜板用于工作面沿磁场运行方向长度大于 1 800 的电磁搅拌器测试；
- b) 2×250×1 500 铜板用于长度大于 1 000 小于或等于 1 800 的电磁搅拌器测试；
- c) 2×250×1 000 铜板用于长度小于或等于 1 000 的电磁搅拌器测试。

B.4 方坯、圆坯、矩形坯和异形坯等旋转磁场搅拌器电磁力矩的测量

B.4.1 测量参数的设定

分别调节专用变频电源的频率和电流强度,使电磁搅拌器的频率和电流强度分别达到额定值。

- a) 固定某个频率分挡次调节电流强度直至额定值；
- b) 固定某个电流强度,分挡次调节频率直至额定值。

B.4.2 测量方法和测量值单位

根据待测电磁搅拌器的规格选定合适的测试头。测试时将测试头与电磁搅拌器同轴,处于电磁搅拌器感应器的轴向正中间,调整仪表量程使测量值控制在量程的 20%~80% 范围内。测量值单位为千克力·米(kgf·m)或牛顿·米(N·m)。测量结果以表格和曲线表出。

B.5 板坯行波磁场搅拌器电磁推力(或拉力)的测量

B.5.1 测量参数的设定

分别调节专用变频电源的频率和电流强度,使电磁搅拌器的频率和电流强度分别达到额定值。

- a) 固定某个频率分挡次调节电流强度直至额定值；
- b) 固定某个电流强度,分挡次调节频率直至额定值。

B.5.2 测试薄铜板的数量

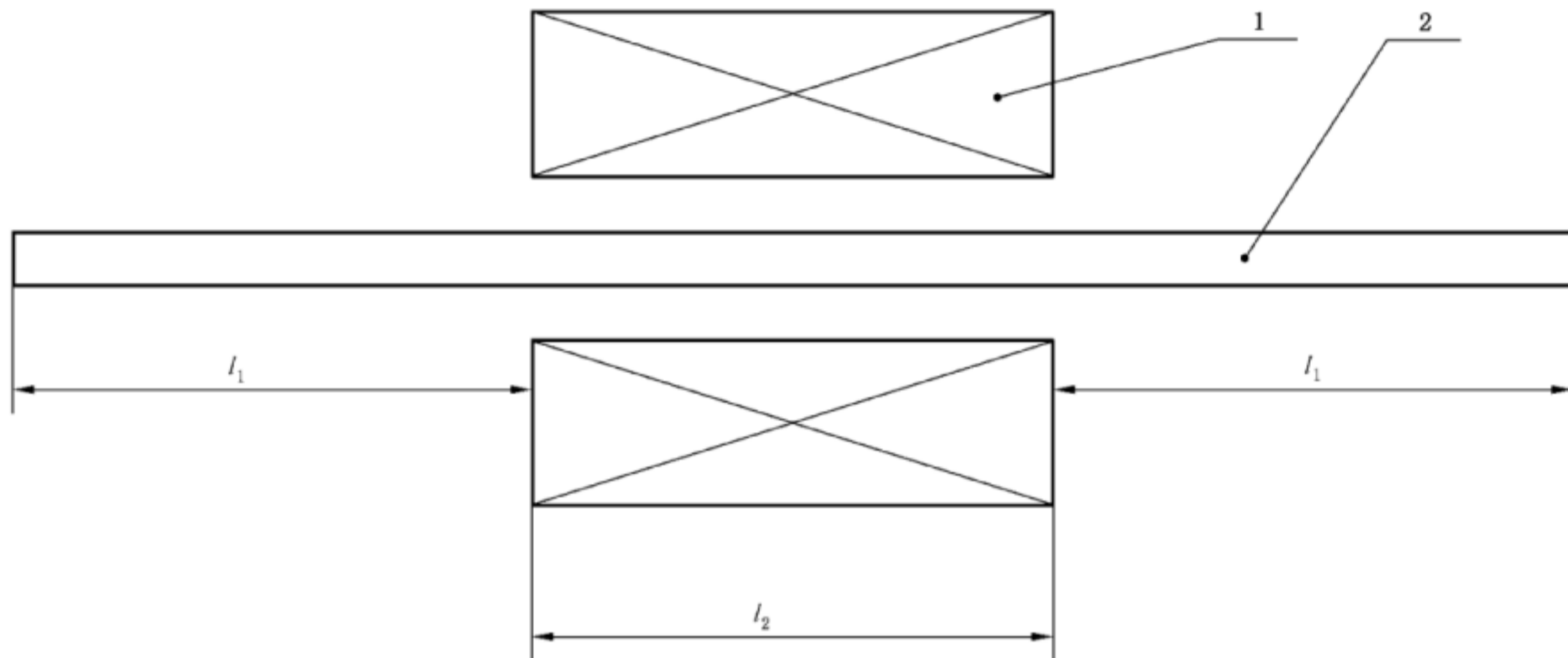
根据待测电磁搅拌器的规格选定合适的测试薄铜板,铜板的数量依据连铸坯的厚度及电磁搅拌器感应器的极距、宽度按等效电导率相等的原理通过式(B.1)、式(B.2)计算出模拟铸坯厚度的铜板厚度,然后均分为 2 mm 厚的若干块薄铜板,均匀分布在铸坯厚度范围内。

$$\sigma_1 k_{11} \Delta_1 = \sigma_2 k_{12} \Delta_2 \dots\dots\dots (B.1)$$

式中：

- σ_1, σ_2 ——铸坯、铜板的电导率,单位为西门子每米(S/m)；
- k_{11}, k_{12} ——铸坯、铜板的横向效应系数；
- Δ_1, Δ_2 ——铸坯、铜板的厚度,单位为毫米(mm)。

横向效应系数 k_t 与电磁搅拌器感应器的极距和宽度以及二次导体的宽度有关。
计算模型见图 B.1:



说明:

- 1——电磁搅拌器感应器;
- 2——二次导体。

图 B.1 横向效应系数计算模型

其表达式为:

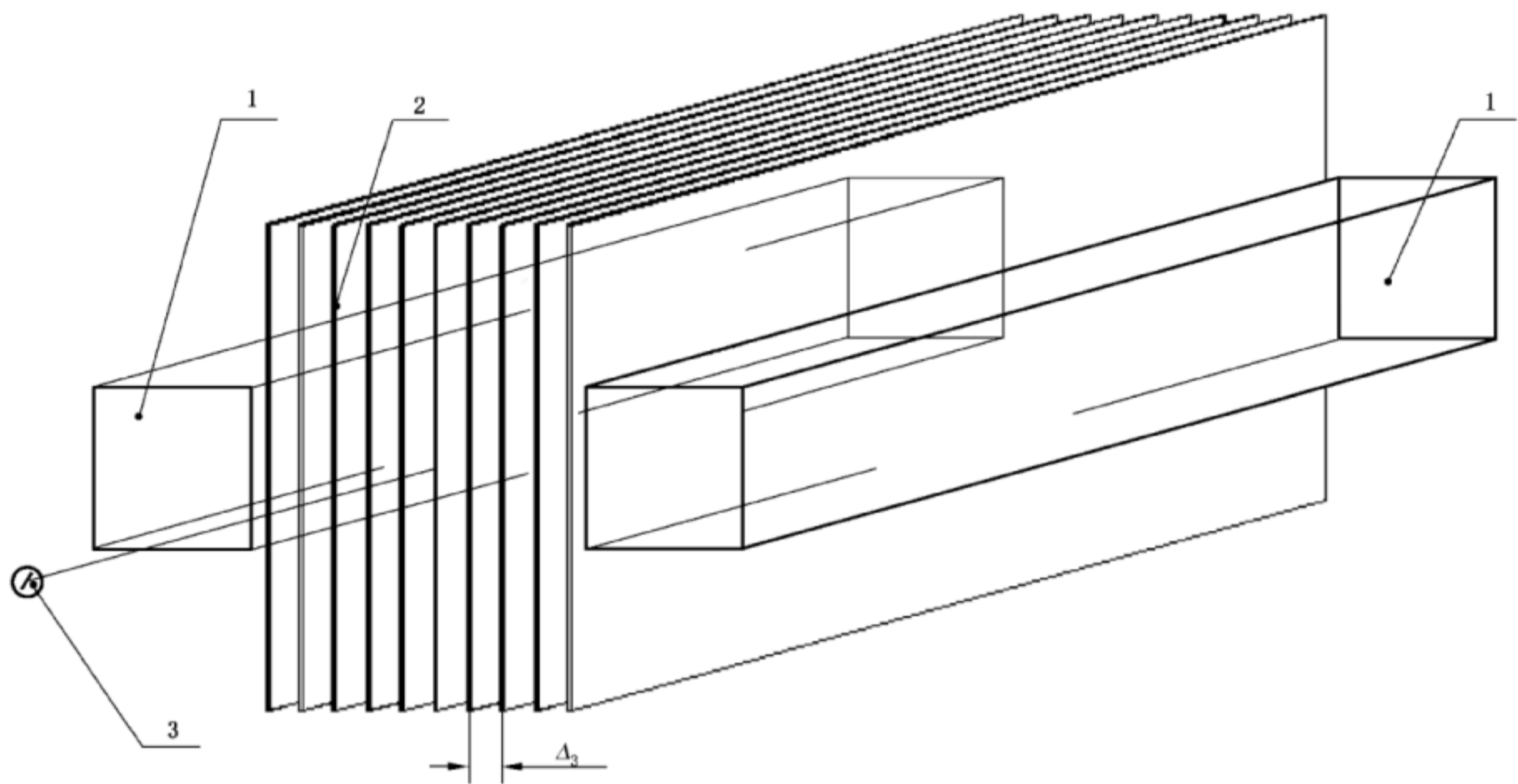
$$k_t = 1 - \tanh(\pi l_2 / 2\tau) / \{(\pi l_2 / 2\tau)[1 + \tanh(\pi l_2 / 2\tau)\tanh(\pi l_1 / \tau)]\} \dots\dots\dots (B.2)$$

式中:

- l_2 ——电磁搅拌器感应器的铁芯宽度,单位为米(m);
- τ ——电磁搅拌器感应器的极距,单位为米(m);
- l_1 ——二次导体延伸在电磁搅拌器感应器两边外的宽度,单位为米(m)。

B.5.3 测量方法和测量值单位

测量装置示意图见图 B.2。



说明：

- 1 —— 电磁搅拌器感应器；
- 2 —— 薄铜板；
- 3 —— 拉力传感器；
- Δ_3 —— 铸坯厚度,单位为米(m)。

图 B.2 铜板模拟测量法

测试时按示意图 B.2 将 2 mm 厚的一定数量的薄铜板均匀分布、对称平行悬挂在电磁搅拌器工作面之间的铸坯厚度范围内。然后,用拉力传感器分别测出每块铜板上所受的电磁推力,每块铜板均代表了相应位置的一定厚度的铸坯所受的推力(或拉力)。

调整仪表量程使测量值控制在量程的 20%~80% 范围内,测量值单位为千克力(kgf)或牛顿(N),最后按式(B.3)转换为压强:毫米铁柱(mmFe)。测量结果以表格和曲线表出。

$$H = 9.8F_0 \times 10^3 / \Delta_3 l_2 \gamma \quad \dots\dots\dots (B.3)$$

式中：

- F_0 —— 每块薄铜板上所受的电磁推力,单位为千克力(kgf)；
- Δ_3 —— 每块薄铜板代表的铸坯的厚度,单位为米(m)；
- l_2 —— 电磁搅拌器感应器的铁芯宽度,单位为米(m)；
- γ —— 钢液的比重:70 000 N/m³。

中华人民共和国
国家标准
电磁搅拌器通用技术条件
GB/T 33546—2017

*

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

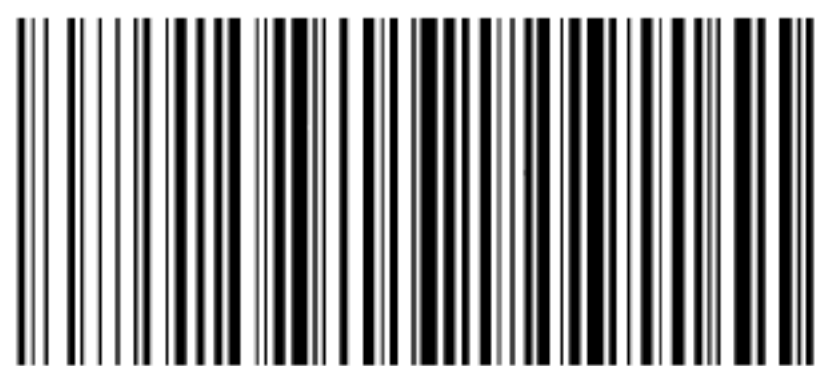
服务热线:400-168-0010

2017年3月第一版

*

书号:155066·1-56214

版权专有 侵权必究



GB/T 33546-2017