

团 体 标 准

T/CMES XXXX—20XX

复合电磁搅拌制动器技术规范

Technical specification for composite electromagnetic
stirring and braking device

(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国机械工程学会 发布

中国机械工程学会标准征求意见稿

中国机械工程学会（英文简称 CMES）是具备开展国内、国际标准化活动资质的全国性社会团体。制定中国机械工程学会团体标准，以满足企业需要和市场需求，推动机械工业创新发展，是中国机械工程学会团体标准的工作内容之一。中国境内的团体和个人，均可提出制、修订中国机械工程学会团体标准的建议并参与有关工作。

中国机械工程学会团体标准按《中国机械工程学会标准化管理办法》进行制定和管理。

中国机械工程学会团体标准草案经向社会公开征求意见，并得到参加审定会议的 3/4 以上的专家、成员的投票赞同，方可作为中国机械工程学会团体标准予以发布。

在本标准实施过程中，如发现需要修改或补充之处，请将意见和有关资料寄给中国机械工程学会，以便修订时参考。

本标准版权为中国机械工程学会所有。除了用于国家法律或事先得到中国机械工程学会正式许可外，不许以任何形式复制、传播该标准或用于其他商业目的。

中国机械工程学会地址：北京市海淀区首体南路 9 号主语国际 4 座 11 层

邮政编码：100048 电话：010-68799027 传真：010-68799050

网址：www.cmes.org 联系人：袁俊瑞 电子信箱：yuanjr@cmes.org

目 次

目 次..... II

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..... 2

5 基本结构..... 3

6 工作条件..... 3

7 技术要求..... 4

8 试验方法..... 5

9 检验规则..... 9

10 标志、包装、运输和贮存..... 10

附录 A（规范性） 电磁力检查 12

附录 B（规范性） 绕组和冷却水额定热稳定温差检查..... 15

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。

本标准由中国机械工程学会提出。

本标准由中国机械工程学会铸造分会归口管理。

本标准起草单位：

本标准起草人：

考虑到本标准中的某些条款可能涉及专利，中国机械工程学会不负责对该类专利的鉴别。

本标准首次制定。

中国机械工程学会标准征求意见稿

复合电磁搅拌制动器技术规范

1 范围

本标准规定了复合电磁搅拌制动器的产品型号、基本结构、工作条件、技术要求、试验方法、检验规则以及标志、包装、运输和贮存。

本标准适用于板坯的连续铸钢（连铸）复合电磁搅拌制动器，其它复合电磁搅拌制动器可参照执行。

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 755—2019 旋转电机 定额和性能
GB/T 2521.1 全工艺冷轧电工钢 第一部分：晶粒无取向钢带（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 不锈钢冷轧钢板和钢带
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 中小型旋转电机通用安全要求
GB 31212 无损检测 漏磁检测 总则
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

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

板坯电磁冶金装备 slab electromagnetic metallurgical equipment

一种利用电磁力来提高板坯的铸坯质量的设备。

注：主要包括电磁搅拌器、电磁制动器等。

3.2

电磁搅拌器 electromagnetic stirrer

利用交变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。

3.3

电磁制动器 electromagnetic brake

利用静磁场在导电液体中感生出的电磁力（洛伦兹力），控制导电液体做有规律运动的设备。

3.4

磁场形态 form of magnetic field

板坯电磁冶金装备所激发的磁场的运动形态。

注：主要有静磁场、旋转磁场、行波磁场、螺旋磁场、复合磁场五种。

3.5

复合电磁搅拌制动器 composite electromagnetic stirring and braking device

应用于板坯的连铸过程中，通过施加复合磁场在导电液体中感生出的电磁力（洛伦兹力），控制导电液体做有规律运动的装置。

3.6

额定冷却水流量 rated flow of cooling water

复合电磁搅拌制动器在额定运行时出水口的冷却水流量。

3.7

额定冷却水压力 rated pressure of cooling water

复合电磁搅拌制动器在额定运行时进水口的冷却水压力。

3.8

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。

3.9

外冷式绕组 external cooling winding

一种绕组，由包有绝缘材料的导体（紫铜管或带）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。

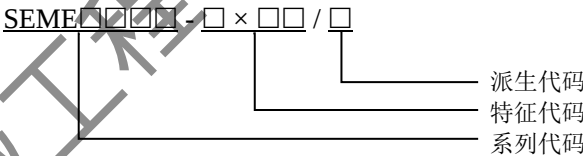
3.10

泄露电阻 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。

4 产品型号

产品型号由系列代码、特征代码和派生代码三部分组成，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。系列代码由产品代号、磁力作用对象代号、安装位置代号、安装方式代号、磁场形式代号五部分组成；特征代码由工作面代号和冷却方式代号组成，见表1。



示例：

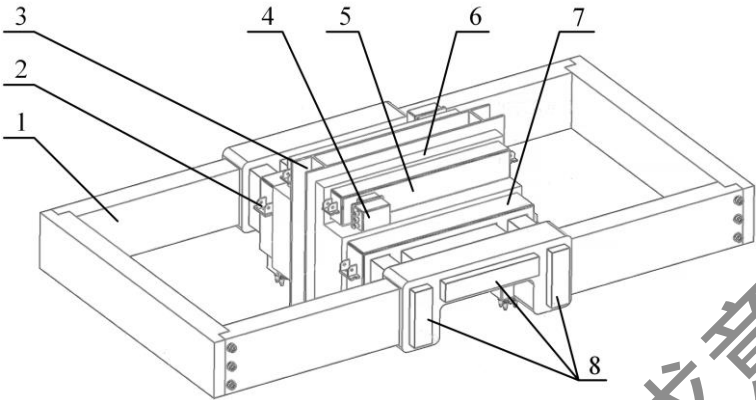
SEMEMEC-1750×230I 表示板坯连铸结晶器外置式复合电磁搅拌制动器系列，板坯结晶器尺寸为1750mm（长）×230mm（宽），绕组为内冷式。

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	磁力作用对象代号	安装位置代号	安装方式代号	磁场形式代号	工作面代号	冷却方式代号	
SEME	“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	“T”行波磁场	方、矩形工作面长度×宽度	“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	—	“E”位置在结晶器外部	“S”静磁场	—	“E”绕组外冷式	
	“C”对象为铜	—	—	“C”复合磁场	—	—	
	“O”对象为其他金属	—	—	—	—	—	

5 基本结构

复合电磁搅拌制动器主要包括电磁搅拌部分、电磁制动部分等，其基本结构示意图如图1所示。



标引序号说明：

- 1——磁轭；
- 2——固定板；
- 3——结晶器铜板；
- 4——接线盒；
- 5——电磁搅拌部分；
- 6——安装板；
- 7——电磁制动部分；
- 8——铁芯。

图1 复合电磁搅拌制动器基本结构示意图

6 工作条件

6.1 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：≤50 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ；
- c) 磁性微粒含量：≤1.0 mg/L；
- d) 悬浮物含量：≤20 mg/L；
- e) 悬浮物尺寸：
 - 外冷式绕组：≤20 μm ；
 - 内冷式绕组：≤5 μm ；
- f) 固体微粒含量：≤5.0 mg/L；
- g) 氯气：<2.0 mg/L；
- h) 氯化物含量：<1.0 mg/L；
- i) 碳酸盐含量：<1.0 mg/L；
- j) 硫化氢：<0.1 mg/L。

6.2 进水口冷却水温度

进水口冷却水温度为5℃~40℃。

6.3 出水口冷却水流量

复合电磁搅拌制动器冷却水额定流量值的80%≤出水口冷却水流量≤复合电磁搅拌制动器冷却水额定流量值的150%。

6.4 进水口冷却水压力

复合电磁搅拌制动器冷却水额定压力值的80%≤进水口冷却水压力≤复合电磁搅拌制动器冷却水额定压力值的120%。

6.5 复合电磁搅拌制动器专用变频电源要求

6.5.1 变频电源输出电压值≥复合电磁搅拌制动器额定电压值的 105%。

6.5.2 变频电源输出电流值≥复合电磁搅拌制动器额定电流值的 105%。

6.5.3 电流控制精度≤复合电磁搅拌制动器额定电流值的 2%。

6.5.4 变频电源频率应在复合电磁搅拌制动器额定频率值的±60%之间连续可调；频率控制精度≤±0.1 Hz。

6.5.5 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%。

7 技术要求

7.1 外观质量

7.1.1 复合电磁搅拌制动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 的规定。

7.1.2 紧固件配齐，外表无刺目焊疤和扎手等缺陷。

7.2 密封性

7.2.1 外冷式绕组复合电磁搅拌制动器的壳体、接线端子在 1.25 倍额定水压力并保压 30 min 应无压降。

7.2.2 内冷式绕组复合电磁搅拌制动器的绕组在 1.5 倍额定水压力并保压 60 min 应无压降。

7.2.3 内冷式绕组结晶器内置复合电磁搅拌制动器的壳体在 0.3 MPa 干燥气体压力并保压 120 min 应无压降。

7.2.4 内冷式绕组结晶器外置复合电磁搅拌制动器的壳体在 0.3 MPa 干燥气体压力条件下各焊缝无气体泄漏现象。

7.3 绕组浸水后在实际冷态下的绝缘性

7.3.1 外冷式绕组复合电磁搅拌制动器在绕组浸水 24 h 后，绝缘电阻应≥20 MΩ；长时间使用后，泄露电阻应≥200 Ω。

7.3.2 内冷式绕组复合电磁搅拌制动器在绕组干燥后，绝缘电阻应≥200 MΩ；长时间使用后，绝缘电阻应≥5 kΩ。

7.4 绕组在实际冷态下各相直流电阻

复合电磁搅拌制动器在实际冷态下的各项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%。

7.5 绕组在实际冷态下的耐电压

内冷式绕组复合电磁搅拌制动器，其绕组干燥后，施加的耐电压试验值应符合GB/T 755—2019中表17项号2和号4的要求，持续1 min，无击穿或闪络现象。

7.6 绕组的短时升高电压

复合电磁搅拌制动器绕组通水运行后，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。

7.7 磁感应强度

复合电磁搅拌制动器激发的磁感应强度，在额定激励电流下，不应小于相关标准规定值的90%。

7.8 电磁力

- 7.8.1 复合电磁搅拌制动器同向搅拌的中心推力，在额定频率和激磁电流下，不应小于相关标准规定值的 90%。
- 7.8.2 复合电磁搅拌制动器异向搅拌在高于搅拌器表面 c（安装气隙）15 mm 处的电磁推力，在额定频率和激磁电流下，不应小于相关标准规定值的 90%。
- 7.8.3 复合电磁搅拌制动器电磁制动力，在额定激磁电流下，不应小于相关标准规定值的 90%。

7.9 正常工作状态时的冷却水温度差

- 7.9.1 外冷式绕组复合电磁搅拌制动器的绕组冷却水的进、出水口温度差应 $\leq 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；
- 7.9.2 内冷式绕组复合电磁搅拌制动器的绕组冷却水的进、出水口温度差应 $\leq 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；
- 7.9.3 内冷式绕组复合电磁搅拌制动器的内壳体夹层冷却水的进、出水口温度差应 $\leq 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

7.10 漏磁

复合电磁搅拌制动器的漏磁，在额定频率和激励电流时，距离复合电磁搅拌制动器表面100 mm处不应超过相关规定的110%。

7.11 接地

复合电磁搅拌制动器的接地应符合GB 14050的规定。

8 试验方法

8.1 外观质量

目视法检测复合电磁搅拌制动器的外观质量。

8.2 密封性

8.2.1 试验条件

试验水应符合6.1冷却水水质要求，实验气体用干燥的空气或氮气。复合电磁搅拌制动器整体组装完成后，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。

8.2.2 试验过程

按照7.2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。

8.3 绕组通水后在实际冷态下绝缘电阻

8.3.1 试验条件

在8.2试验合格状态下，根据复合电磁搅拌制动器的额定电压，按表2选用兆欧表进行试验。

表2 绝缘检测仪器的选择

复合电磁搅拌制动器的额定电压	兆欧表规格
500 V以下	500V、500 MΩ， ≤ 1.5 级
500 V~1 000 V	1 000V、1 000 MΩ， ≤ 1.5 级

8.3.2 试验方法

在测量绝缘电阻之前，应切断电动机电源，并对兆欧表进行自检。根据复合电磁搅拌制动器的冷却方式，分别采用以下对应的试验方法进行试验。

a) 外冷式绕组复合电磁搅拌制动器的绝缘电阻检查。将复合电磁搅拌制动器内腔充满实验水,在冷却水压力为额定压力条件下进行绕组绝缘电阻检查。对于复合电磁搅拌制动器电磁搅拌部分,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。如果各相绕组在装置内部已连接,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。对于复合电磁搅拌制动器电磁制动部分,只需要测量绕组对机壳之间的绝缘电阻。

b) 内冷式绕组复合电磁搅拌制动器的绝缘电阻检查。在复合电磁搅拌制动器绕组重新干燥的条件下进行绝缘电阻检查。对于复合电磁搅拌制动器电磁搅拌部分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。如果各相绕组在装置内部已连接,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。对于复合电磁搅拌制动器电磁制动部分,只需要测量绕组对机壳之间的绝缘电阻。

8.4 绕组在实际冷态下各相直流电阻

8.4.1 复合电磁搅拌制动器搅拌部分绕组的各相直流电阻用双臂电桥测量,双臂电桥的精度不应低于1.0级。

8.4.2 测量时,应在复合电磁搅拌制动器搅拌部分绕组的两个出线端上测量。每个电阻测量需要重复三次,每次读数与三次读数平均值之差应在 $\pm 0.5\%$ 范围内,取其平均值作为直流电阻的测量值。

8.4.3 当复合电磁搅拌制动器搅拌部分每相绕组始末端都引出时,直接测量每相绕组的直流电阻。

8.4.4 当复合电磁搅拌制动器搅拌部分三相绕组已在内部连接成星形接法时,则在每两个出线端测量电阻,各相电阻值(Ω)按公式(1)、公式(2)和公式(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:

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

式中:

A ——电阻不平衡率;

$R_{\max}$ ——直流相电阻值中最大值,单位为欧姆(Ω);

$R_{\min}$ ——直流相电阻值中最小值,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)。

8.5 绕组在实际冷态下的耐电压

8.5.1 内冷式绕组复合电磁搅拌制动器的耐电压

8.5.1.1 电磁搅拌部分

8.5.1.1.1 试验条件

将复合电磁搅拌制动器绕组干燥后进行。施加的交流50 Hz正弦耐电压检查值按GB/T 755—2019中表17项号2的要求进行。

8.5.1.1.2 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与铁芯或机壳连接。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不应少于10 s。全值电压试验时间应维持1 min而无击穿或闪络现象。

8.5.1.2 电磁制动部分

8.5.1.2.1 试验条件

将复合电磁搅拌制动器绕组干燥后进行。施加的耐电压检查值按GB/T 755—2019中表17项号4的要求进行。

8.5.1.2.2 试验过程

试验时电压应施于绕组与机壳之间，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不应少于10 s。全值电压试验时间应维持1 min而无击穿或闪络现象。

8.6 短时升高电压检查

8.6.1 试验条件

应在8.5试验合格后，复合电磁搅拌制动器处于空载状态，使用复合电磁搅拌制动器专用交直流变频电源进行试验，变频电源应符合6.5要求。

8.6.2 试验方法

复合电磁搅拌制动器通入额定压力、额定流量的实验水；试验电压数值按7.6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。

8.7 磁感应强度

8.7.1 试验条件

在8.6试验合格后，复合电磁搅拌制动器处于空载状态，在复合电磁搅拌制动器中通入额定压力、额定流量的实验水。对外冷式绕组复合电磁搅拌制动器，应保证其内腔充盈且无空穴。试验所使用的复合电磁搅拌制动器专用变频电源应符合6.5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）。

8.7.2 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复合电磁搅拌制动器的工作面。

8.7.3 试验过程

调整专用变频电源，控制频率和电流给定旋钮，反馈给复合电磁搅拌制动器的电源频率和电流分别单独调整。

a) 固定某一频率，分档次调节电流强度直至额定值。按8.7.5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，分档次调节频率直至额定值。按8.7.5测得磁感应强度幅值随频率变化的规律。

8.7.4 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。三者的关系按公式（5）计算：

$$B_{\text{幅值}} = \sqrt{2} B_{\text{有效}} = \frac{\pi}{2 B_{\text{平均}}} \text{ 或 } B_{\text{幅值}} = 1.41 B_{\text{有效}} = 1.57 B_{\text{平均}} \dots\dots\dots (5)$$

8.7.5 测量点布置

8.7.5.1 复合电磁搅拌制动器电磁搅拌部分

8.7.5.1.1 测量准备

测量准备如下：

a) 将标记有L（内弧）侧和F（外弧）侧的复合电磁搅拌制动器电磁搅拌部分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 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。

8.7.5.1.2 磁感应强度沿 x 轴和 y 轴分布的测量

8.7.5.1.2.1 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} 。

8.7.5.1.2.2 测量值处理

测量值处理如下：

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。

8.7.5.1.3 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 轴分布。

8.7.5.2 复合电磁搅拌制动器电磁制动部分

8.7.5.2.1 测量准备

测量准备如下：

a) 将标记有L侧和F侧的复合电磁搅拌制动器电磁制动部分的工作面平行对置并垂直于水平测试平台，且静磁场方向平行于水平测试平台，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。水平中心线垂直于静磁场方向，定义为 x 轴；垂直中心线平行于静磁场方向，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。

8.7.5.2.2 磁感应强度沿 x 轴和 y 轴分布的测量

8.7.5.2.2.1 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} 。

8.7.5.2.2.2 测量值处理

测量值处理如下：

- 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。

8.7.5.2.3 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。

8.8 电磁力

复合电磁搅拌制动器的电磁力检查详见附录A。

8.9 绕组和冷却水额定热稳定温差

复合电磁搅拌制动器绕组和冷却水额定热稳定温差检查见附录B。

8.10 漏磁

8.10.1 试验条件

在8.6试验合格后，采用额定频率与激励电流对复合电磁搅拌制动器的电磁搅拌部分与电磁制动部分进行磁化，复合电磁搅拌制动器的漏磁检测应按照GB/T 31212的规定进行。

8.10.2 试验方法

使用漏磁检测设备（如霍尔元件或线圈等磁场传感器）分别在距离电磁搅拌部分与电磁制动部分表面100 mm处进行扫描，漏磁不得超过相关规定的110%。检测过程中，保持检测探头与被检表面的距离与移动速度固定，确保全面覆盖复合电磁搅拌制动器的被检区域。

8.11 接地

8.11.1 试验条件

检测前确保环境安全、无积水、无杂物。在复合电磁搅拌制动器处于关闭状态时，断开复合电磁搅拌制动器与电源的连接，确保无电流通过。

8.11.2 试验方法

连接接地电阻测试仪的电极到复合电磁搅拌制动器的接地点和接地极，根据测试仪说明书要求设置测试电流、测试时间等测试参数，进行5次重复测试，测试值应小于4 Ω 。

9 检验规则

9.1 检验分类

复合电磁搅拌制动器的检验分为出厂检验和型式检验。

9.2 出厂检验

9.2.1 每台复合电磁搅拌制动器需经制造厂质量检验部门检验合格后方可出厂。

9.2.2 出厂检验项目见表3 出厂检验部分。

9.3 型式检验

9.3.1 有下列情况之一时，复合电磁搅拌制动器应进行型式检验。

- 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。
- 9.3.2 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。
- 9.3.3 型式检验应符合本标准和相应系列标准的全部要求。
- 9.3.4 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%。
- 9.3.5 型式检验项目的检验内容见表 3。

表3 检验项目

序号	检验项目	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	外观质量	7.1	8.1	—	—
2	密封性	7.2	8.2	7.2	8.2
3	绕组浸水后在实际冷态下的绝缘性	7.3	8.3	7.3	8.3
4	绕组在实际冷态下各相直流电阻	7.4	8.4	7.4	8.4
5	绕组在实际冷态下的耐电压	7.5	8.5	7.5	8.5
6	绕组的短时升高电压	7.6	8.6	7.6	8.6
7	磁感应强度	7.7	8.7	7.7	8.7
8	电磁力	7.8	8.8	7.8	8.8
9	正常工作状态时的冷却水温度差	7.9	8.9	7.9	8.9
10	漏磁	7.10	8.10	7.10	8.10
11	接地	7.11	8.11	7.11	8.11

10 标志、包装、运输和贮存

10.1 标志

10.1.1 铭牌标志

10.1.1.1 每台复合电磁搅拌制动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。

10.1.1.2 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) 产品执行的标准编号；
- e) 出厂编号和日期。

10.1.2 冷却水进、出水口标志

每台复合电磁搅拌制动器在冷却水进、出口位置应设置明显的标志。

10.1.3 拉坯方向标志

复合电磁搅拌制动器的安装方式未能清楚的表明其安装方向和顺序时,应在复合电磁搅拌制动器壳体上的醒目部位进行标示。

10.2 包装

10.2.1 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。

10.2.2 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。

10.2.3 复合电磁搅拌制动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。

10.2.4 技术文件应装入文件内。

10.3 运输

复合电磁搅拌制动器在运输中,避免因挤压、刹车、颠簸而产生变形或损坏。

10.4 贮存

10.4.1 复合电磁搅拌制动器贮存于通风、干燥的库房中。

10.4.2 复合电磁搅拌制动器应单台平放,禁止倒置或置于倾斜角度大于 30° 的地方。

10.4.3 复合电磁搅拌制动器在贮存时,应将复合电磁搅拌制动器内的冷却水放净,进、出水口封闭。

10.4.4 复合电磁搅拌制动器每存放一年,进行一次养护。

附录 A
(规范性)
电磁力检查

A.1 试验条件

测量应在磁感应强度测试(8.7)合格状态下进行。测量时模拟实际使用工况,复合电磁搅拌制动器处于模拟搅拌/制动对象(如测试头、薄铜板)状态。复合电磁搅拌制动器应通入额定压力、额定流量的实验冷却水并使用复合电磁搅拌制动器专用变频电源供电,其性能符合6.5的规定。

A.2 试验方法

根据复合电磁搅拌制动器的工作面,采用薄铜板模拟板坯的电磁推力/制动力测量法。

A.3 试验仪器

A.3.1 电磁推力测量装置

A.3.1.1 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。

A.3.1.2 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) 规格依据厚度 $\times$ 宽度 $\times$ 长度,分三种: $2\text{ mm} \times 250\text{ mm} \times 2\text{ 000 mm}$ 、 $2\text{ mm} \times 250\text{ mm} \times 1\text{ 500 mm}$ 和 $2\text{ mm} \times 250\text{ mm} \times 1\text{ 000 mm}$ 。

A.3.1.3 适用范围

适用范围如下:

- a) $2\text{ mm} \times 250\text{ mm} \times 2\text{ 000 mm}$ 铜板用于长度大于 1 800 mm 的复合电磁搅拌制动器电磁推力(或拉力)测试;
- b) $2\text{ mm} \times 250\text{ mm} \times 1\text{ 500 mm}$ 铜板用于长度大于 1 000 mm 小于或等于 1 800 mm 的复合电磁搅拌制动器电磁推力(或拉力)测试;
- c) $2\text{ mm} \times 250\text{ mm} \times 1\text{ 000 mm}$ 铜板用于长度小于或等于 1 000 mm 的复合电磁搅拌制动器电磁推力(或拉力)测试。

A.3.2 电磁制动力测量装置

A.3.2.1 装置构成

电磁制动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。

A.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) 规格依据厚度 $\times$ 宽度 $\times$ 长度,分三种: $2\text{ mm} \times 250\text{ mm} \times 2\text{ 000 mm}$ 、 $2\text{ mm} \times 250\text{ mm} \times 1\text{ 500 mm}$ 和 $2\text{ mm} \times 250\text{ mm} \times 1\text{ 000 mm}$ 。

A.3.2.3 适用范围

适用范围如下:

- a) 2 mm×250 mm×2 000 mm铜板用于长度大于1 800 mm的复合电磁搅拌制动器电磁制动力测试;
- b) 2 mm×250 mm×1 500 mm铜板用于长度大于1 000 mm小于或等于1 800 mm的复合电磁搅拌制动器电磁制动力测试;
- c) 2 mm×250 mm×1 000 mm铜板用于长度小于或等于1 000 mm的复合电磁搅拌制动器电磁制动力测试。

A.4 复合电磁搅拌制动器电磁推力（或拉力）的测量

A.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,使复合电磁搅拌制动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。

A.4.2 测试薄铜板的数量

根据待测复合电磁搅拌制动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复合电磁搅拌制动器感应器的极距、宽度按等效电导率相等的原理通过式(A.1)、式(A.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,如图A.1所示。

$$\sigma_1 - k_{t1}\Delta_1 = \sigma_2 k_{t2}\Delta_2 \dots\dots\dots (A.1)$$

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_{t1} 、 k_{t2} ——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 与复合电磁搅拌制动器的极距和宽度以及二次导体的宽度有关。其表达式为:

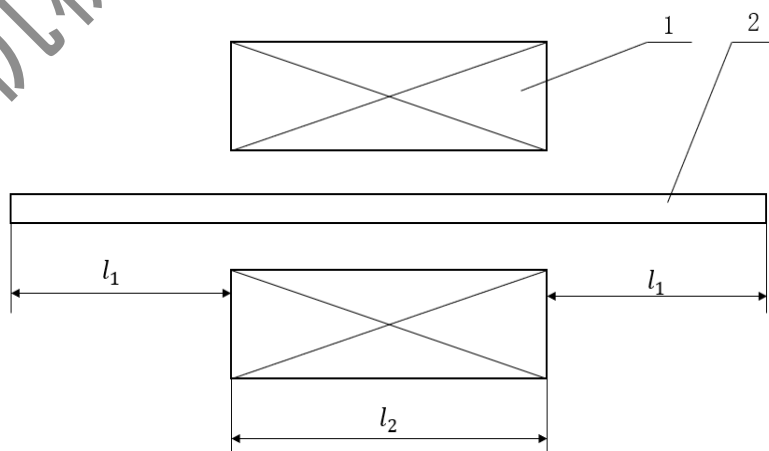
$$k_t = 1 - \tanh(\pi l_2 / 2\tau) / \{(\pi l_2 / 2\tau)[1 + \tanh(\pi l_2 / 2\tau) \tanh(\pi l_1 / \tau)]\} \dots\dots\dots (A.2)$$

式中:

l_2 ——复合电磁搅拌制动器搅拌部分铁芯厚度,单位为米(m);

τ ——复合电磁搅拌制动器感应器的极距,单位为米(m);

l_1 ——二次导体延伸在复合电磁搅拌制动器两边外的宽度,单位为米(m)。



标引序号说明:

1——复合电磁搅拌制动器的制动部分;

2——二次导体薄铜板。

图A.1 横向效应系数计算模型

A.4.3 测量方法和测量值单位

测试时将2 mm厚的一定数量的薄铜板均匀分布、对称平行悬挂在复合电磁搅拌制动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(A.3)转换为压强。测量结果以表格和曲线表出。

$$H = 9.8 F_0 \times 10^3 / \Delta_3 l_2 \gamma \dots\dots\dots (\text{A.3})$$

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）；

I_2 ——复合电磁搅拌制动器搅拌部分铁芯厚度,单位为米(m);

γ ——钢液的比重: $70\,000\text{ N/m}^3$ 。

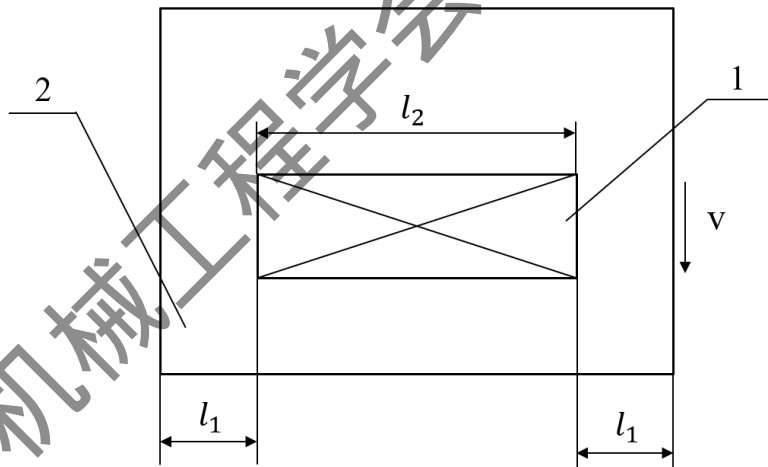
A.5 复合电磁搅拌制动器电磁制动力的测量

A.5.1 测量参数的设定

调节专用变频电源的电流强度,使复合电磁搅拌制动器的电流强度达到额定值。

A.5.2 测试薄铜板的数量

测试薄铜板数量的计算方式同A.4.2，对应的横向效应计算模型如图A.2所示。



标引序号说明:

1——复合电磁搅拌制动器的制动部分;

2——二次导体薄铜板。

图A.2 横向效应系数计算模型

A.5.3 测量方法和测量值单位

测试时将2 mm厚的一定数量的薄铜板均匀分布、对称平行置于复合电磁搅拌制动器工作面之间的铸坯厚度范围内,使用移动装置控制薄铜板向下做匀速运动。然后用拉力传感器分别测出每块薄铜板上所受的电磁制动力,每块薄铜板均代表了相应位置的一定厚度的铸坯所受的电磁制动力。测量值单位的转换同A. 4. 3。

附录 B (规范性) 绕组和冷却水额定热稳定温差检查

B.1 检查仪器

铂电阻指针式温度表、水银温度计、双臂电桥、数显压力表及数显流量计，仪器计量精度等级不低于1.5。

B.2 测试条件

测试应在8.6试验合格状态下进行。试验时复合电磁搅拌制动器应通入额定压力、额定流量的实验水并且使用复合电磁搅拌制动器专用的变频电源。

B.3 检查方法

检查方法为电阻法，步骤如下：

- a) 复合电磁搅拌制动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 （ Ω ）及此时的冷却水出口温度 T_{01} （ $^{\circ}\text{C}$ ）；
- b) 复合电磁搅拌制动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（ $^{\circ}\text{C}$ ）和出口水（ $^{\circ}\text{C}$ ）；
- c) 电流中断后，立即测量绕组相电阻（ Ω ）；
- d) 停机时间的修正按GB/T 755—2019的规定执行。

B.4 结果计算

B.4.1 冷却水温升

按公式（B.1）计算冷却水温升（ $^{\circ}\text{C}$ ）：

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

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（ $^{\circ}\text{C}$ ）。

B.4.2 绕组温度

按式（B.2）计算试验结束时绕组的温度：

$$T_2 = (R_2 - R_1) \times \frac{T_1 + K}{R_1} + T_1 \quad \text{..... (B.2)}$$

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 $^{\circ}\text{C}$ 时电阻温度系数的倒数，铜： $K=234.5$ 。

B.4.3 绕组温升

按式（B.3）计算绕组温升（ $^{\circ}\text{C}$ ）：

$$\Delta T_{\text{R}} = T_2 - T_{01} \cdots \cdots \cdots (\text{B.3})$$

式中：
 ΔT_{R} ——绕组温升，单位为摄氏度（℃）。
对每相绕组应分别进行测试。

中国机械工程师学会标准征求意见稿