中国南方电网
CHINA SOUTHERN POWER GRID

一种自供电检测励磁碳刷电流和长度的装置设计及应用

技术规范书

2026 年 09 月

前言

本技术规范书规定了一种自供电检测励磁碳刷电流和长度装置的研究、设计、制造、试验、现场部署、验收、技术资料和服务要求。装置面向抽水蓄能发电机励磁滑环碳刷运行场景，利用刷辫电流感应取电，在不配置外部供电线路和可更换电池的条件下，对单支碳刷电流及剩余长度进行在线采集，并通过无线链路传送至现场边缘处理器和后台接收主机。

本规范书依据项目申报书确定的研究目标编制，采用参考技术规范书的编排逻辑。凡本规范书未明确但属于完整实现装置功能、可靠运行和验收所必需的软硬件、附件、工艺和技术服务，均应包含在项目实施范围内。

1 引用技术标准的规定

1.1 标准和规程

装置及配套设备的设计、制造、检验、包装、运输和现场实施应执行现行有效的国家标准、电力行业标准和国际标准。采用企业标准或其他标准时，其技术水平不得低于本规范书和适用国家、行业标准，并应提交买方确认。标准之间发生不一致时，按本规范书、国家强制性标准、国家推荐性标准、电力行业标准及经买方确认的其他标准顺序执行。

1.2 主要技术标准

序号	标准编号	标准名称或适用内容
1	GB/T 191	包装储运图示标志
2	GB/T 2423	环境试验系列标准

序号	标准编号	标准名称或适用内容
3	GB/T 4208	外壳防护等级 IP 代码
4	GB/T 13384	机电产品包装通用技术条件
5	GB/T 17626	电磁兼容 试验和测量技术系列标准
6	GB/T 18268.1	测量 控制和实验室用电气设备的电磁兼容性要求
7	GB/T 20840.8	电子式电流互感器相关技术要求
8	DL/T 596	电力设备预防性试验规程
9	IEC 60529	外壳防护等级 IP 代码
10	IEC 61000	电磁兼容系列标准

以上标准仅列出主要适用文件。合同或项目实施期间如标准更新，应由双方确认适用版本；如具体条款与现场安全管理制度冲突，应执行更严格要求。

2 总则及质量保证要求

2.1 一般要求

供方应对装置的完整性、先进性、成熟性、安全性和工程适用性负责，提供全新、未使用的合格产品和配套软件。

装置不得改变原励磁回路的电气连接关系，不得降低刷握、刷辫、滑环及周边部件的绝缘、散热、机械强度和检修便利性。

供方应完成现场勘察、适配设计、样机制造、软硬件调试、试验验证、安装指导、现场联调和验收配合。

供方对外购件、配套件和分包工作承担同等质量责任。

2.2 质量保证

供方应建立覆盖设计、元器件采购、装配、灌封、校准、出厂试验和现场服务的质量控制记录。装置应具有唯一编号，关键测量模块应提供校准或检验记录。因设计、材料、制造或软件缺陷造成的故障，由供方负责修复或更换。

3 项目概述及研究范围

3.1 项目背景

抽水蓄能发电机组运行过程中，励磁碳刷可能出现单刷过流、电流分配不均、刷辫松动、弹簧压力不足、偏磨及磨损过限等问题。异常发展后可能造成碳刷过热、氧化、接触电阻增大、跳火拉弧、滑环烧蚀，严重时引发励磁回路接地、短路或机组非计划停运。传统人工巡检存在接近旋转部件风险高、数据离散和异常发现滞后的不足。

3.2 研究目标

研制一套由自供电取电模块、碳刷电流和长度二合一监测传感器、低功耗数据处理模块、无线通信模块、现场边缘处理器及后台接收软件构成的验证系统，实现“取电于碳刷、用于监测”，形成单支碳刷电流与剩余长度的实时采集、异常预警、历史追溯和趋势分析能力。

3.3 研究及供货边界

序号	工作包	主要内容	责任主体
1	现场勘察	核对碳刷、刷握、刷辫、安装空间、通信距离及电磁环境	供方，买方配合
2	方案与设计	自供电、传感器、低功耗处理、无线通信、安装	供方

序号	工作包	主要内容	责任主体
		结构和软件设计	
3	样机研制	完成一套装置及配套接收和显示功能	供方
4	试验验证	功能、精度、通信、环境适应性、绝缘及连续运行试验	供方
5	现场实施	安装指导、联调、阈值整定、试运行和问题整改	双方
6	成果交付	装置一套、完整技术资料及实用新型专利申请材料一项	供方

4 系统组成与工作原理

4.1 系统组成

层级	组成	主要作用
感知与取电层	感应取电模块、霍尔电流传感器、超声长度传感器	从刷辫电流获取能量并采集单刷电流和剩余长度
边缘处理层	低功耗处理器、信号调理、存储与无线射频模块	滤波、换算、特征提取、缓存、休眠唤醒和无线发送
接收与应用层	现场边缘处理器、后台接收主机及软件	接收、展示、记录、告警、趋势分析与状态追溯

4.2 工作原理

自取电启动：发电机运行且刷辫中存在满足启动条件的电流时，磁芯感应线圈产生电能，经整流、滤波、稳压和储能后向装置供电。

同步采集：霍尔传感器采集碳刷电流，超声传感器通过声波往返时间计算碳刷剩余长度；数据处理模块按设定周期采样。

处理判断：处理器完成数字滤波、标定补偿、异常值剔除、电流均匀度计算、磨损趋势计算及状态判别。

无线上传：装置以 433 MHz 无线射频方式将数据及状态发送至现场边缘处理器，再由后台接收主机完成展示和记录。

低功耗休眠：发电机停机或励磁电流为零时，装置进入低功耗休眠；再次具备取电条件时自动恢复。

5 功能要求

5.1 自供电与电源管理

采用刷辫穿芯式电磁感应取电，不使用外接工作电源和需定期更换的电池。

具备整流、滤波、稳压、储能、欠压保护、过压保护和上电复位功能；能量不足时不得发送错误测量数据。

具备启动、正常运行、低能量和休眠状态管理，状态切换不得造成测量值异常突变。

5.2 碳刷电流监测

对被测单支碳刷电流进行实时测量，支持电流有效值、变化率和多刷电流均匀度计算。

支持传感器零点、增益校准和现场比对；超过整定阈值时形成过流或电流不均告警。

5.3 碳刷长度监测

采用超声波声反射测距方式周期性测量碳刷剩余长度，支持初始长度标定、结构偏置补偿和温度影响修正。

支持磨损量、磨损速率、剩余寿命趋势及磨损过限告警；测量异常时应给出传感器故障或数据无效标识。

5.4 数据处理与诊断

内置滤波、模式识别、预测分析和特征提取算法，对电流值、超声回波及历史趋势进行融合分析。

告警阈值应可配置，至少包括单刷过流、电流不均、长度不足、磨损速率异常、通信中断和电源能量不足。

系统诊断或状态识别正确率应不低于 99%，验证样本、工况范围和判定规则应在试验方案中明确。

5.5 通信、存储与显示

监测端采用 433 MHz 无线射频通信，满足现场不小于 30 m 的有效传输要求；应具有设备地址、数据校验、重发或容错机制。

现场边缘处理器应接收监测端数据并转发至后台，支持断链缓存和恢复补传，具体上行接口在设计联络阶段确认。

后台至少显示设备编号、测点、实时电流、碳刷长度、磨损量、状态、时间戳和告警信息，并支持历史查询、趋势曲线及数据导出。

5.6 安全与结构

监测传感器采用小型化一体式结构，内部灌封或等效固封，不得设置运行中可能松脱的外露紧固件。

外壳采用耐高温、高绝缘、耐油污及抗振材料；材料选择不得形成影响测量或设备安全的涡流、局部发热和绝缘薄弱点。

安装不得妨碍碳刷自由运动、刷辫弯曲、刷握散热和正常更换，不得侵入旋转部件安全距离。

是否允许不停机安装必须依据电站工作票制度、带电作业规定和现场风险评估确定；未经买方书面批准不得带电安装。

6 主要技术参数

6.1 整机性能指标

序号	项目	技术要求	验收方法
1	监测对象	单支励磁碳刷电流及剩余长度	现场核对
2	电流测量误差	不大于±1% 或双方确认的更严指标	标准源/钳形表比对
3	长度测量误差	不大于±2mm 或双方确认的更严指标	标准量块/游标卡尺比对
4	诊断或状态识别正确率	不低于 99%，按确认的数据集和判据统计	测试样本统计
5	无线工作频段	433 MHz	频谱或配置核查
6	无线有效距离	现场典型工况下不小于 30 m	现场通信试验

序号	项目	技术要求	验收方法
7	工作温度	－20 ℃～＋85 ℃	资料审查/试验
8	存储温度	－40 ℃～＋125 ℃	资料审查/试验
9	低功耗状态	处理器待机电流小于 1 mA，核心休眠指标按器件设计验证	功耗测试
10	防护要求	取电模块不低于 IP65；其余模块结合安装位置确定	防护试验/资料审查

6.2 分模块参数

模块	参数项目	技术要求
碳刷电流监测模块	测量范围	0～200 A
碳刷电流监测模块	精度	1%级，整机误差满足 6.1 要求
碳刷电流监测模块	电流消耗	不大于 25 mA
碳刷电流监测模块	参考尺寸/重量	30 mm×40 mm×19 mm；不大于 66 g
碳刷长度监测模块	工作频率	40 kHz～200 kHz
碳刷长度监测模块	响应时间	小于 200 ms
自供电取电模块	输入电流范围	10A～200 A
自供电取电模块	额定输出功率	1～5W ，按样机负载匹配

模块	参数项目	技术要求
自供电取电模块	稳压输出	DC 12 V
自供电取电模块	转换效率	不低于 90%
自供电取电模块	输出纹波	不大于 120 mV 峰峰值
自供电取电模块	耐压等级	3 kVAC/1 min
数据处理模块	主频	32 MHz～72 MHz
数据处理模块	采样频率	1 kS/s～10 kS/s
数据处理模块	接口与通信	本地 RS485；无线 433 MHz
数据处理模块	工作电流	正常工作小于 10 mA，待机小于 1 mA

7 设计与制造要求

7.1 适配设计

供方应依据现场刷握、碳刷、刷辫尺寸和空间完成三维或二维适配设计，提交安装界面图、外形图、重量、材料、最小安全距离及维护操作说明，经买方确认后制造。

7.2 电气与电磁兼容

采集回路与通信回路应采取隔离、滤波、屏蔽、接地和浪涌防护措施，避免励磁电流波动、无线发射及周边设备对测量造成不可接受影响。

无线通信不得干扰励磁调节、保护、测量和其他电站设备；如现场频谱管理不允许 433 MHz，应由双方确定合规替代方案。

7.3 软件与数据

软件应具有用户权限、参数配置、设备管理、时间同步、日志、数据备份与恢复功能。

数据记录应包含设备编号、测点编号、时间戳、原始或工程量数据、状态字和数据有效性标志。

通信协议、数据字典、接口说明、配置工具和必要的维护权限应随项目交付。

8 试验与检验要求

8.1 出厂前检验

序号	检验项目	主要内容	判定要求
1	外观与结构	尺寸、重量、材料、固封、标识及安装接口	符合确认图纸，无松动和损伤
2	自供电性能	启动、稳压、纹波、效率、低电流和额定工况	符合 6 章
3	电流测量	多点标定、重复性、零点和误差	误差符合 6.1
4	长度测量	多位置量块、重复性、偏差和异常回波	误差符合 6.1
5	通信性能	距离、丢包、干扰、断链恢复和地址管理	功能完整，距离符合 6.1
6	功耗与休眠	工作、发送、待机和唤醒状态	符合 5 章和 6 章
7	绝缘与耐压	绝缘电阻及规定耐压试验	无击穿、闪络和损坏
8	环境适应性	高低温、振动、电磁兼容等适用试验	试验后功能与精度合格

序号	检验项目	主要内容	判定要求
9	连续运行	不少于 72 h 连续运行或双方确认时长	无死机、异常复位和持续数据丢失

8.2 现场验收试验

核查供货数量、型号、编号、外观、合格证明、试验报告和技术资料。

在安装位置完成电流与长度测量比对，记录基准仪器、环境、负载和误差。

验证无线覆盖、数据接收、断链告警、实时显示、历史查询、趋势曲线、阈值整定和数据导出。

在不影响机组安全运行的条件下完成试运行。发现问题后整改并复验，全部验收项目合格方可通过。

9 实施部署要求

9.1 现场勘察与方案

供方应在制造前完成现场勘察，形成安装点位、设备布置、通信链路、施工组织、危险点分析、隔离防护、工器具和试验仪器清单。现场实施方案须经买方审核后执行。

9.2 安装与调试

安装前确认机组状态、工作票、安全措施和异物控制措施，严禁遗留金属件、导线或工具。

安装后检查碳刷活动、刷辫弯曲半径、弹簧受力、滑环安全距离和防松脱状态。

完成设备地址、测点名称、量程、零点、阈值、采样周期和通信参数配置，形成调试记录。

10 供货范围及备品备件

10.1 一般要求

供方应保证供货范围完整。虽未在清单中列出，但为实现本规范书功能、安装、调试和验收所必需的连接件、安装附件、通信附件、软件许可及专用工具，均应包含在供货范围内。最终数量和型号在设计联络阶段确认。

供方所提供的所有在线监测模块不能改变原有碳刷结构，不能影响本碳刷的正常更换及相邻碳刷的正常更换及日常使用。

10.2 供货清单

序号	名称	主要规格或功能	单位	数量	备注
1	自供电取电模块	刷辫感应取电、整流滤波稳压及储能	个	1	样机配置
2	碳刷电流监测模块	0～200 A 霍尔测量	个	1	样机配置
3	碳刷长度监测模块	超声测距	个	1	样机配置
4	数据处理与无线通信模块	低功耗处理、存储、433 MHz 通信	个	1	可与传感器集成
5	现场边缘处理器	数据接收、缓存与上送	套	1	含接收天线及附件
6	后台接收与分析软件	显示、告警、查询、趋势和导出	套	1	含安装调试
7	安装附件	支架、绝缘件、防护件及必要连接件	套	1	按现场适配

序号	名称	主要规格或功能	单位	数量	备注
8	技术服务	勘察、培训、安装指导、调试及验收配合	项	1	项目期内

11 包装与运输技术要求

a. 包装应符合 GB/T 13384 及 GB/T 191 等适用规定，满足防潮、防尘、防振、防碰撞和长途运输要求。

b. 包装箱外应标明项目名称、设备名称、箱号、毛重、外形尺寸、收发货信息及必要的储运标志。

c. 精密传感器、电子模块和附件应分类固定并采取防静电措施；随机文件应防潮密封。

d. 到货时如发现包装破损、受潮、数量短缺或设备损坏，供方应及时补齐或更换。

12 售后及增值服务要求

12.1 卖方应提供相应的技术指导和必要的现场技术服务。买方在备品备件安装使用期间如遇问题，卖方应提供相应的技术指导；买方根据问题情况进行评估，如有需要，卖方须派有丰富经验的技术人员到现场进行技术服务，卖方应在接到买方通知的 24 小时内给予答复，并派技术人员在 3 天内到达现场。

12.2 如遇有重大问题需要双方立即研究协商时，任何一方均可建议召开会议，除特殊情况外，另一方应配合参加。

12.3 卖方应提供不少于 12 个月的免费质保期，质保期内免费提供软件版本升级、算法优化、缺陷修复及技术支持服务。