

# Research on Improving the Reliability of Hall Speed Sensor Measurement System

Xudong Xu

National Energy Group Bengbu Company, Bengbu, Anhui, 233000, China

## Abstract

To address the issues of poor measurement stability and limited post-installation calibration time of Hall speed sensors in the field of industrial automation, this paper focuses on the speed detection of steam turbines and steam-driven feedwater pumps in power systems. By considering the working characteristics of Hall speed sensors, the technical deficiencies of the existing system are analyzed, and an optimization plan covering sensor selection improvement, functional module reorganization, and redundant detection is proposed. A test platform is constructed using high-precision measurement cards, incorporating a magnetic field interference assessment model and a nonlinear error correction formula. The effectiveness of the improvement plan is verified through multi-condition tests. After optimization, the measurement system achieves a measurement error reduction from  $\pm 1.5\%$  to  $\pm 0.8\%$  in an environment of  $85^{\circ}\text{C}$  with metal chip interference, and the stability of continuous operation is enhanced by 40%. This significantly improves the maintenance efficiency of power generation enterprises and the operational safety of units, providing technical support for the field of industrial speed measurement.

## Keywords

Hall speed sensor; Measurement reliability; Nonlinear correction; Redundant test; Industrial automation

## 提高霍尔转速传感器测量系统可靠性研究

许旭东

国家能源集团蚌埠公司, 中国·安徽蚌埠 233000

## 摘要

为应对工业自动化范畴内霍尔转速传感器测量稳定性欠佳、安装后校验时长有限等问题, 本文聚焦电力系统汽轮机/汽动给水泵转速检测情形, 结合霍尔转速传感器的工作特点, 对现有系统技术缺陷展开分析, 给出涵盖传感器选型改良、功能模块重组及冗余检测的优化方案。运用高精度量测卡件构建试验平台, 纳入磁场干扰评估模型与非线性误差修正公式, 经多工况试验检验改进方案的成效, 经优化的测量系统在 $85^{\circ}\text{C}$ 高温且有金属屑干扰的环境中, 测量误差从原本的 $\pm 1.5\%$ 降低到了 $\pm 0.8\%$ , 系统连续运转的稳定性增强了40%, 大幅提升发电企业检修效能与机组运行安全性, 为工业转速测量范畴给予技术支持。

## 关键词

霍尔转速传感器; 测量可靠性; 非线性修正; 冗余测试; 工业自动化

## 1 引言

### 1.1 研究背景

在工业自动化体系中, 霍尔转速传感器因具备无接触式测量、响应速率快等优点, 成为电力系统里汽轮机、汽动给水泵等关键设备转速监控的核心部件。但霍尔转速传感器测量偏差由环境干扰、非线性特性引发的情况比例较高<sup>[1]</sup>。伴随电网对发电设备运行稳定性要求提高, 传统霍尔转速传感器测量体系暴露出突出短板。在50到 $85^{\circ}\text{C}$ 的高温环境下, 传感器内置的霍尔芯片灵敏性降低, 造成测量误差拓展<sup>[2]</sup>。

汽轮机润滑油里的金属屑容易附着到齿轮信号盘上, 造成磁场产生扰动, 致使转速判定出错。安装后要开展连续72小时的测量稳定性验证, 极大降低发电企业的检修效率。

### 1.2 研究目的与意义

本研究旨在借助技术改良, 消除霍尔转速传感器测量系统面临的环境适应性欠佳、误差控制困难以及验证周期漫长等问题, 将高温情形下测量误差限制在 $\pm 1\%$ 以内。提高系统针对金属屑干扰的抗干扰水平, 把安装后的验证时长缩减到24小时。

### 1.3 研究内容

本研究依照“问题分析-方案设计-实验验证-效果评估”推进, 主要涵盖以下内容: 一是探究霍尔转速传感器测量误差的源头, 构建误差和温度、磁场干扰的关联模型; 二是从

【作者简介】许旭东(1978-), 男, 中国安徽合肥人, 本科, 工程师, 从事火电厂热工监控系统研究。

传感器挑选、功能模块划分及检测办法三个维度提出改良方案，着重开展冗余测量架构与非线性校正算法的设计；三是设立多工况实验台，经对比试验检验改进方案的成效；四是构建可实施的技术标准，为工业现场的实际应用给予引导。

## 2 研究现状

### 2.1 霍尔转速传感器基本原理

转速测量借助霍尔效应由霍尔转速传感器来实现，其关键原理是在传感器磁场中，带齿（齿数为  $Z$ ）旋转圆盘转动时，缺口与齿交替越过传感器检测区域，造成穿过霍尔芯片的磁通量产生周期性变动，按照霍尔效应公式（1）可知，磁通量变化率和霍尔芯片输出的电压信号（ $U_H$ ）存在正比关系<sup>[3]</sup>：

$$U_H = K_H \cdot \frac{d\Phi}{dt} \quad (1)$$

式中， $U_H$  为霍尔芯片灵敏度（单位： $V \cdot s/Wb$ ）， $\frac{d\Phi}{dt}$  为磁通量变化率（单位： $Wb/s$ ）。通过对输出电压信号进行整形、计数处理，结合公式（2）即可计算转速（ $n$ ，单位： $r/min$ ）：

$$n = \frac{60 \cdot f}{Z} \quad (2)$$

式中， $f$  为输出信号频率（单位： $Hz$ ）； $Z$  代表旋转盘的齿数，常规应用状况下，一般选取 60 或者 120（本公司为 83 齿），以保障转速计算精准度与响应速率达成平衡。

### 2.2 霍尔转速传感器优点与不足

#### 2.2.1 优点

采用非接触方式测量，旋转部件与传感器无机械接触，使用时长理论上能达到 5 至 8 年，现场环境下，因振动、潮湿、环境温度变化、灰尘等复杂因素作用，通常使用时长为 2 至 3 年，具备宽范围适配能力，测量范围为 20-10000 转/分钟，能满足汽轮机（3000r/min，定速）、给水泵（2500r/min-6000r/min，根据负荷情况进行变速）等各类设备要求，拥有强大的抵御振动能力。采用整体密封式封装规划，在 10 至 2000Hz 的振动场景中依旧能稳定运转，适应工业现场复杂工作条件<sup>[4]</sup>。

#### 2.2.2 不足

若环境温度超出 60℃，霍尔芯片灵敏度  $K_H$  按 0.5% 每摄氏度的速度衰减，造成测量误差增加，干扰抵御能力欠佳，若有直径  $\geq 0.1mm$  的金属屑附着在齿轮盘，就会产生一个额外的磁场，对磁通量检测造成干扰，使转速偏差达到  $\pm 3\%$  以上，非线性误差，在转速较低的区间，信号频率  $f$  处于较低水平，计数精度受电路噪声影响大，非线性误差可达到正负 2.5%。

## 3 实验设计与实施

### 3.1 传感器选型

依据工业现场的实际需求，构建传感器选型的指标体

系，相关参数列于表 1。选型时着重考量温度适应性能与抗干扰水平，HT-S300 传感器借助陶瓷封装与温度补偿电路，可让 85℃ 时灵敏度衰减比率降到 0.1%/℃。内部安置磁屏蔽层，可降低外界磁场影响。

表 1 传感器选型指标及结果

选型指标	技术要求	选型结果
工作温度范围	-40℃ ~85℃	选用 HT-S300 型霍尔传感器（-40℃ ~100℃）
霍尔芯片灵敏度	$\geq 20V \cdot s/Wb$	内置 A1324 霍尔芯片（ $K_H=25V \cdot s/Wb$ ）
输出信号类型	方波（5VTTL）	符合工业 PLC/DCS 信号输入标准
抗振动等级	$\geq 2000Hz$	满足 GB/T13823.10-2009 振动测试要求
响应时间	$\leq 10\mu s$	适配高转速（10000r/min）测量需求

### 3.2 功能模块划分

把测量系统划分成由感知层、处理层与验证层构成的三层体系，各模块的功能以及技术优化办法如下：

#### 3.2.1 感知层

感知层的关键部件是霍尔传感器和齿轮信号盘，齿轮信号盘用 304 不锈钢制成，对其表面实施镀铬操作，降低金属屑的附着，把控传感器的安装间距在 1.8mm-2.5mm 范围，保证磁通量变化率平稳：

$$d = \frac{B_0 \cdot S}{2 \cdot \Delta\Phi_{max}} \quad (3)$$

式中， $B_0$  为传感器磁场强度（0.5T）， $S$  为齿轮齿面面积（20mm<sup>2</sup>）， $\Delta\Phi_{max}$  为最大磁通量变化（ $1 \times 10^{-4}Wb$ ），计算得最优安装距离  $d=1.8mm$ 。

#### 3.2.2 处理层

处理层由信号调理线路与数据计算模块构成，研发了非线性校正算法，针对低转速范围的误差，添加修正系数，校正后的转速计算式如下：

$$n_{corr} = n_{raw} \cdot (1 + \alpha \cdot e^{-k \cdot n_{raw}}) \quad (4)$$

式中， $n_{raw}$  为原始测量转速， $\alpha=0.025$ ， $k=0.001r/min^{-1}$ ，借实验数据拟合得出，使用 16 位高精度 ADC（ADS1115）来采集电压数据，把采样频率设置成 10kHz，保障信号无失真。

#### 3.2.3 验证层

设立冗余式测量架构，于同一测量位置配置 2 台相同型号的传感器，输出的信号各自接入独立的数据采集路径，以布朗卡（BL-6201）高精度测量卡件（精度  $\pm 0.05\%$ ）作为实时对比的基准，实时对比主/备用传感器和基准值的偏差，若偏差超出  $\pm 1\%$  则触发警报<sup>[5]</sup>。

### 3.3 测试设备与方法

#### 3.3.1 测试设备

搭建多工况测试平台，核心设备如表 2 所示。

表2 测试设备及用途

设备名称	型号	技术参数	用途
霍尔转速传感器	HT-S300	工作温度 -40°C ~ 100°C, 灵敏度 25V · s/Wb	转速信号采集
高精度测量卡件	BL-6201	测量范围 0-15000r/min, 精度 $\pm 0.05\%$	基准值获取
高低温试验箱	TH-800	温度范围 -40°C ~ 150°C, 控温精度 $\pm 0.5^\circ\text{C}$	高温工况模拟
金属屑发生器	MZ-100	可产生 0.1-0.5mm 铁屑, 浓度可调	干扰工况模拟
数据采集软件	LabVIEW2023	采样频率 10kHz, 支持实时数据存储	数据记录与分析

### 3.3.2 测试方法

设计3组对照试验,各实验重复操作3次,以均值作为最终结果,开展温度影响测试,把传感器放进高低温试验箱,设定温度梯度为25°C、40°C、55°C、70°C、85°C,在汽轮机额定转速3000r/min的条件下开展误差测量。于25°C环境开展干扰影响测试,利用金属屑生成装置生成不同浓度(0、5、10、15mg/m<sup>3</sup>)的铁屑,对给水泵在2500r/min至6000r/min(变动转速)状态下的转速偏差进行测量,对改进方案(24小时)与传统方案(72小时)的测量稳定性展开对比,把连续测量偏差不超过 $\pm 1\%$ 当作合格的衡量标准。

## 4 实验结果与分析

### 4.1 测量误差分析

#### 4.1.1 温度对测量误差的影响

改进方案可有效遏制高温引发的误差增大。优化方案中HT-S300传感器的温度补偿电路,借助热敏电阻实时调控霍尔芯片工作电压,抑制灵敏度的下降。处理层借助非线性修正算法,对温度引发的系统性偏差予以进一步纠正。

#### 4.1.2 金属屑干扰对测量误差的影响

改良方案的抗干扰水平显著提高。磁屏蔽层针对传感器,降低了金属屑额外生成的磁场干扰,并且冗余测量结构借助主、备用传感器的数据比对,排除异常数值,避免误判。

### 4.2 系统稳定性优化

#### 4.2.1 验证周期优化效果

传统方案与改进方案的验证周期对比结果如表3所示,改进举措使验证时长缩减至一日,且稳定性达标。改进措施借助冗余度量与实时误差监测,能于24小时内迅速判断系统稳定性,若24小时连续偏差处于 $\pm 0.8\%$ 以内,后续两天偏差超出标准的可能性低于0.5%,无需延长验证时长。

表3 周期优化效果

验证周期(h)	传统方案合格次数(3次)	改进方案合格次数(3次)	平均偏差(%)
24	1	3	$\pm 0.7$
48	2	-	$\pm 0.65$
72	3	-	$\pm 0.6$

#### 4.2.2 长期运行稳定性

针对改进后的系统实施了连续30天的监测,结果显示。面对25至80°C的温度起伏、0至12mg/m<sup>3</sup>的金属屑干扰,测量偏差始终保持在 $\pm 0.8\%$ 范围内。和传统方案相比,系

统稳定性提升幅度达40%,充分契合电力系统对关键设备转速测量的可靠需求。

### 4.3 实验验证结论

在85°C高温与15mg/m<sup>3</sup>铁屑高干扰环境中,将测量误差分别管控在 $\pm 0.8\%$ 、 $\pm 18\text{r/min}$ ,比传统方案减少60%以上。安装验证时长从72小时减至24小时,使检修时间减少66.7%,极大增强发电企业设备启用效率。改进方案所采用的传感器和测试设备皆为工业级商品,成本仅增加15%,而因可靠性增强使故障损失降低幅度超80%,展现出显著的性价比优势。

## 5 结论

### 5.1 研究总结

本研究利用对霍尔转速传感器测量体系的改良,攻克了传统系统环境适应不佳、验证耗时久等难题。制定以温度补偿和磁屏蔽为依据的传感器选型规范,择取HT-S300型传感器作为核心构件。创建“感知-处理-验证”三层功能体系,研发非线性校正算法与冗余测定方案,切实控制误差。打造多工况测试途径,借助布朗卡高精度卡件检验改进成效。

### 5.2 未来展望

后续研究可从两方面深化,一是引入AI算法,借助机器学习对非线性修正系数实施实时优化,从而提高低转速范围的测量精准度。二是开展无线传输模块的开发工作,对传感器状态的远距离监控和故障预警提示,搭建“测量-诊断-维护”一体体系,为工业自动化提供更为全面的技术支持。

### 参考文献

- 梁桃华,周江,肖冠南.霍尔开关DH621在电机转速测量中的应用研究[J].电子制作,2024,32(16):69-71+75.DOI:10.16589/j.cnki.cn11-3571/tn.2024.16.010.
- 吴邈俊,冯涵,闫菁,等.用霍尔传感器测量磁力搅拌器转速的方法探索[J].中国设备工程,2023,(18):123-125.
- 袁明,倪静,张思仪,等.基于霍尔元件的框架陀螺转速测量电路设计与实验[J].航空精密制造技术,2022,58(05):37-40.
- 郑楠,薛力铭,胡竞,等.内磁式霍尔转速传感器的信号处理[J].电子世界,2022,(02):190-191.DOI:10.19353/j.cnki.dzsj.2022.02.083.
- 舒望.基于霍尔传感器转速测量电路研究与设计[J].电子测试,2020,(01):29-30+40.DOI:10.16520/j.cnki.1000-8519.2020.01.009.