

ICS 77 140 65

CCS H 49



团 体 标 准

T/CEATEC XXX—2026

钢丝绳在线漏磁检测用轻量化探头设计规范

Specification for the design of lightweight probes for online magnetic flux leakage testing of wire ropes

2026-X-XX 发布

2026-X-XX 实施

中国欧洲经济技术合作协会 发布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 设计总则	1
4.1 设计原则	1
4.2 设计目标	2
4.3 总体设计要求	2
4.4 设计文件要求	2
5 设计要求	2
5.1 结构设计要求	2
5.2 轻量化设计要求	3
5.3 磁路与励磁系统设计要求	3
5.4 传感器设计要求	4
5.5 信号处理与数据接口设计要求	4
5.6 机械性能设计要求	4
5.7 环境适应性设计要求	4
5.8 安全与可靠性设计要求	4
6 设计确认	5
6.1 设计确认原则	5
6.2 设计确认方法	5
6.3 设计确认记录	5

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。

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。

本文件由中国欧洲经济技术合作协会提出并归口。

本文件主要起草单位：。

本文件主要起草人：。

本文件为首次编制。

钢丝绳在线漏磁检测用轻量化探头设计规范

1 范围

本文件规定了钢丝绳在线漏磁检测用轻量化探头的设计原则、设计要求、设计确认。

本文件适用于钢丝绳在线漏磁检测系统中的轻量化探头的设计活动，包括新型探头的概念设计、详细设计与工程化设计。

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 4208 外壳防护等级 (IP代码)
- GB/T 8706 钢丝绳 术语、标记和分类
- GB/T 34357 无损检测 术语 漏磁检测

3 术语和定义

GB/T 8706、GB/T 34357界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

在线漏磁检测 online magnetic flux leakage testing

在钢丝绳运行或受力状态下，对其内部或表面缺陷（如断丝、局部磨损、腐蚀等）进行实时或连续磁场检测的无损检测方法。通过探头磁化钢丝绳，并利用传感器采集漏磁信号，实现缺陷位置和程度的判断，无需拆卸或停机。

3.2

探头 probe

安装于钢丝绳表面或附近，用于产生磁场并采集漏磁信号的检测装置，包括磁化器、传感器及壳体结构等部件。

3.3

轻量化设计 lightweight design

在保证功能、结构强度、可靠性及环境适应性要求的前提下，通过材料选择、结构优化和系统集成降低探头质量和体积的设计方法。

4 设计总则

4.1 设计原则

4.1.1 安全可靠原则

探头设计应在规定运行条件和环境下安全可靠，防止意外损伤和功能失效。

4.1.2 功能完整原则

探头应覆盖主要钢丝绳缺陷类型，实现漏磁信号的有效采集。

4.1.3 轻量化原则

在满足结构强度、可靠性及环境适应性要求的前提下，设计应尽可能降低探头质量和体积。

4.1.4 可制造性与可维护性原则

结构设计应便于加工、装配、模块替换及日常维护。

4.2 设计目标

4.2.1 覆盖范围

探头应适应不同直径及结构形式的钢丝绳。

4.2.2 可靠性

探头应在设计寿命内保持稳定工作性能，满足长期使用要求。

4.2.3 环境适应性

探头应能适应常见工作环境，包括温度、湿度、振动、粉尘及磁场干扰。

4.2.4 接口适配性

探头应兼容常见数据采集接口，保证系统集成便利。

4.3 总体设计要求

4.3.1 功能布局要求

探头应实现磁化器、传感器阵列、信号处理和壳体模块的合理布局，各功能模块之间应具有明确的空间分区。

4.3.2 接口标准化要求

探头的电气接口、机械接口和通信接口应进行标准化设计，接口形式、尺寸、信号类型和端口定义应保持一致性和互换性，并与配套系统的接口规范兼容。

4.3.3 结构设计要求

探头总体结构应紧凑合理，满足安装空间和操作便利性要求。

4.3.4 安全设计要求

探头设计应符合电气安全、机械安全和使用安全原则，合理设置绝缘、电气隔离、防护接地及防误操作措施；在机械结构和电子系统设计中应预留必要的安全裕量，以避免过载、过温和失效扩展风险。

4.3.5 可扩展性要求

探头设计应考虑系统扩展与升级需求，在不影响基本功能的前提下，应支持传感器数量扩展、功能模块替换及软件算法升级。

4.4 设计文件要求

4.4.1 总体设计说明书

应说明设计思路、原则和总体目标。

4.4.2 设计目标表

应列出探头覆盖范围、可靠性、环境适应性及轻量化目标。

4.4.3 功能模块示意图

应标明各模块布局及接口位置。

4.4.4 设计输入清单

应列出主要设计边界条件和参数。

5 设计要求

5.1 结构设计要求

5.1.1 探头总体结构

探头总体结构应符合以下要求：

- a) 探头总体结构应与被测钢丝绳直径范围、运行工况和安装方式相匹配；
- b) 探头结构应具有良好的同轴度设计，探头磁路中心应与钢丝绳轴线的偏差不应大于 $\pm 1\text{mm}$ ；

- c) 探头宜采用模块化设计，单模块尺寸宜不超过500mm×120mm×100mm；
- d) 单模块质量应不超过5kg，总质量应不超过12kg。

5.1.2 夹持与导向结构

夹持与导向结构应符合以下要求：

- a) 应保证探头在钢丝绳运行过程中的自动导向与稳定跟随；
- b) 导向轮或支承机构与钢丝绳的接触压力应可调，压力范围宜为50N~150N；
- c) 应在钢丝绳轻微摆动、椭圆化或跳动情况下保持有效检测间隙，间隙偏差不应超过±1mm。

5.1.3 防护结构

防护结构应符合以下要求：

- a) 探头应具备必要的防尘、防油、防水结构，防护等级不应低于GB/T 4208规定的IP54要求；
- b) 磁路与传感器区域应采取屏蔽或封装防护；
- c) 电缆出线口拉伸强度应不低于200N。

5.2 轻量化设计要求

5.2.1 总体要求

总体要求如下：

- a) 探头设计应在检测性能不降低的前提下实现轻量化；
- b) 应优先采用轻质合金、工程塑料、复合材料等轻量化材料，其密度应低于3g/cm³。

5.2.2 质量控制

质量控制要求如下：

- a) 探头总质量应不大于同等检测量程传统探头质量的70%；
- b) 便携式探头单人可搬运质量应不超过12kg；
- c) 探头单模块质量应不超过5kg。

5.2.3 结构轻量化设计方法

结构轻量化设计方法如下：

- a) 应优先采用薄壁结构、格构式加强结构或拓扑优化设计；
- b) 应避免大余量实心结构和非功能性附加质量；
- c) 轻量化结构设计应满足最大工作载荷500N下不发生永久变形。

5.3 磁路与励磁系统设计要求

5.3.1 磁路形式

磁路形式要求如下：

- a) 磁路结构应形成在钢丝绳内及表面的稳定工作磁场，磁场均匀性误差不应超过±5%；
- b) 磁轭、极靴及磁芯布局应保证漏磁信号具有可测量性与可重复性；
- c) 磁路应尽量闭合，漏磁损耗不应超过总励磁能量的10%。

5.3.2 磁饱和要求

磁饱和要求如下：

- a) 钢丝绳在检测区域内宜处于近饱和磁化状态；
- b) 钢丝绳磁感应强度宜达到1.2T~1.6T；
- c) 磁轭材料饱和磁感应强度应不低于2.0T。

5.3.3 励磁系统设计

励磁系统设计要求如下：

- a) 励磁方式可采用直流励磁、交变励磁或脉冲励磁；
- b) 励磁电流应稳定，电流波动不应超过±2%；
- c) 励磁线圈长期工作温升不应超过60℃。

5.3.4 抗干扰设计

抗干扰设计要求如下：

- a) 应采取磁屏蔽结构，降低外界磁场与邻近钢铁结构影响；
- b) 磁路设计应避免明显磁滞与剩磁对后续检测产生影响。

5.4 传感器设计要求

5.4.1 传感器类型

传感器类型选择要求如下：

- a) 漏磁信号检测可采用霍尔传感器、磁阻传感器或感应线圈传感器；
- b) 传感器类型应与钢丝绳直径、缺陷类型及速度范围相匹配。

5.4.2 传感器布置

传感器布置要求如下：

- a) 传感器应沿周向布置，覆盖钢丝绳外周表面区域；
- b) 轴向布置间距应不大于15mm，可检缺陷长度应不小于3mm；
- c) 传感器布置应避免盲区，必要时应采用重叠布置或多层布置。

5.4.3 性能指标

传感器性能指标要求如下：

- a) 磁场测量灵敏度宜不低于1mV/mT（感应线圈型）或1mV/G（霍尔型）；
- b) 传感器线性误差不应大于±1%；
- c) 传感器系统固有噪声应低于满量程输出的1%。

5.4.4 安装与固定

传感器安装与固定要求如下：

- a) 传感器与钢丝绳表面的有效检测间隙应稳定可控；
- b) 传感器固定结构应能承受加速度不低于50m/s²的冲击。

5.5 信号处理与数据接口设计要求

5.5.1 信号调理设计

信号调理设计要求如下：

- a) 应设置前置放大、滤波与失真抑制电路；
- b) 采样频率应不低于2kHz，空间分辨率应不超过5mm。

5.5.2 数据转换与存储

数据转换与存储要求如下：

- a) A/D转换分辨率不应低于12bit；
- b) 应具备原始信号与处理后信号双存储功能。

5.5.3 数据接口

数据接口要求如下：

- a) 应提供标准化电气接口和通信接口；
- b) 接口形式应支持RS-485、CAN、以太网或同等性能接口。

5.6 机械性能设计要求

5.6.1 抗振动能力

探头应能在振动频率0Hz~200Hz、加速度不超过50m/s²条件下正常工作。

5.6.2 抗冲击能力

探头应能在峰值加速度100m/s²，冲击时间11ms，X/Y/Z方向各3次冲击条件下无破裂或零件脱落。

5.6.3 耐风载荷

最大风速35m/s条件下，探头结构无变形。

5.7 环境适应性设计要求

5.7.1 探头应能在-20℃~+60℃环境温度下正常工作。

5.7.2 探头应能在10%~95%RH环境湿度下正常工作。

5.7.3 探头应能在粉尘浓度不超过100mg/m³环境下正常工作。

5.7.4 探头应可接触ISO VG 32润滑油而性能不受影响。

5.8 安全与可靠性设计要求

5.8.1 安全性要求

安全性要求如下：

- a) 探头结构在规定运行和搬运条件下应无意外损伤或功能失效；
- b) 模块化结构设计在安装过程应安全可靠；
- c) 电气和信号接口设计应采取安全措施，防止触电、短路或信号损坏；
- d) 设计应考虑误操作对探头结构及电子模块的安全影响。

5.8.2 可靠性要求

可靠性要求如下：

- a) 探头设计寿命应不低于5年，满足长期在线使用要求；
- b) 探头连续工作小时数应不低于20000h，钢丝绳通过次数应不低于50万次；
- c) 关键部件的平均无故障时间（MTBF）应不低于10000h。

6 设计确认

6.1 设计确认原则

- 6.1.1 探头设计完成后，应对关键设计目标进行确认，确保设计满足第五章规定的性能要求。
- 6.1.2 设计确认应覆盖结构、重量、磁路与励磁、传感器布置、信号处理接口与环境适应性等方面。
- 6.1.3 确认结果应形成可追溯的设计记录，为设计优化或后续升级提供依据。

6.2 设计确认方法

6.2.1 计算分析

对结构强度、刚度、磁路场分布及热力特性可进行理论或有限元分析，验证设计是否满足标准要求。

6.2.2 模拟验证

在模拟钢丝绳运行条件下，评估传感器布置的有效性和信号采集性能。

6.2.3 实验验证

针对环境适应性或极端工况，可通过实验验证设计可行性。

6.3 设计确认记录

- 6.3.1 应记录设计确认的目标、方法类型、结果及结论。
 - 6.3.2 设计变更或优化后，应对关键性能进行再次确认，并形成记录。
 - 6.3.3 设计确认记录应归档，作为设计完整性和可追溯性依据。
-