

ICS 29.240.20

CCS K 40

团 体 标 准

T/SDL 17—2026

输电线路导地线超声导波无损检测与 评价标准

Standard for Ultrasonic Guided Wave Non-destructive Testing and
Evaluation of Overhead Conductor and Ground Wire of Power Transmission
Lines

2026-07-28 发布

2026-07-28 实施

深圳市电力行业协会 发布

目 次

前 言	II
1 范 围	1
2 规范性引用文件	2
3 术语、定义和缩略语	3
4 总 则	6
5 检测对象与缺陷类型界定	8
5.1 检测对象与范围界定	8
5.2 典型缺陷类型与检测目标	9
6 检测系统与换能器要求	10
6.1 检测系统组成与功能要求	10
6.2 换能器/传感器与耦合方式要求	11
6.3 系统核查与性能确认	12
7 检测流程与判定方法	13
7.1 检测准备	13
7.2 布设方式与检测策略	14
7.3 数据采集与参数设置	14
7.4 信号处理与特征提取	15
7.5 缺陷识别与定位	16
7.6 缺陷评定与分级	17
8 质量控制与准确率评估	18
8.1 质量控制要求	18
8.2 准确率评估方法	19
9 检测报告编制与数据归档	20
10 附录	22
附录 A （资料性附录）钢芯铝绞线超声导波检测常用参数	22
附录 B （规范性附录）钢芯铝绞线超声导波检测工艺规程模板	23
附录 C （资料性附录）超声导波检测相关术语英文对照表	25

前 言

为深入贯彻党的二十大精神，落实国家关于提升能源电力安全保障能力和城市基础设施韧性建设的相关部署，服务深圳市电网安全可靠运行与高质量发展需求，面向城市快速扩张与升级背景下输电线路面临的运维风险与技术挑战，制定本标准。深圳市城市轨道交通密集，输电线路与建成区高度交织，电网运维对检测方法“快、准、可复核”的要求尤为突出。建立统一的架空输电线路钢芯铝绞线（ACSR）超声导波无损检测方法与质量控制要求，对于支撑状态检修、风险分级管控和智慧运维具有重要工程意义。

钢芯铝绞线（Aluminum Conductor Steel Reinforced, ACSR）具有优良的导电性能与机械强度，是输电线路中应用最为广泛的导线类型之一。受长期运行中的微风振动、覆冰、腐蚀及过负荷等因素影响，钢芯铝绞线内部可能发生钢芯或铝股断股、磨损减薄、腐蚀等缺陷。此类缺陷隐蔽性强，早期特征不明显，传统人工巡视及接触式检验手段难以有效发现。超声导波检测技术因其长距离、大范围快速筛查的能力，以及高灵敏度、全截面覆盖的优势，被认为是有望解决该难题的有效手段之一。然而，由于钢芯铝绞线结构的复杂性及导波多模态、频散等特性，波传播特性受载荷相关的线间接触和外围线股螺旋几何结构的影响，不同装备、不同人员、不同工况下检测结果的一致性与可复核性仍显不足，亟需建立统一的技术标准。

本标准在编制过程中，系统参考了国内外导波检测标准的主要技术内容与框架结构。在国内标准方面，重点参考了 GB/T 31211.1—2024《无损检测 超声导波检测 第1部分：总则》在术语体系、通用原则和程序文件化方面的规定；GB/T 31211.2—2024《无损检测 超声导波检测 第2部分：磁致伸缩法》在磁致伸缩换能器应用与方法实施方面的技术路线；GB/T 43480—2023《无损检测 相控阵超声柱面成像导波检测》在对比试块设计、检测步骤、结果评定和检测报告编制方面的结构安排；T/CSTM 00213—2020《无损检测 输电线路架空地线电磁超声导波检测方法》在地线电磁超声导波检测工艺流程和检测设备要求方面的规定；以及 T/SMA 0017—2021《电力杆塔用拉线电磁超声导波检测技术导则》在拉线缺陷检测方法和质量分级要求方面的经验。在国际标准方面，重点参考了 ISO 4773:2023 在相控阵导波检测的应用概念和过程优化方面的指导框架；ASTM E2775-16(2023) 在导波检测工程化实施流程和过程控制方面的规程，包括其明确的导波检测作为筛查工具、不直接测量壁厚而提供缺陷严重程度估计的定位；以及 ISO 18211:2016 在长距离导波检测方法框架和数据质量控制方面的规范。

本标准围绕架空输电线路钢芯铝绞线导波检测，充分吸收上述国内外标准中的相关原则与框架，结合导线自身结构特点，对检测系统的组成与性能、换能器选型与耦合方式、检测流程与方法、信号处理与特征提取、缺陷识别与定位、结果判定与分级、质量控制与

准确率评估以及报告编制与数据归档等环节进行了规定。通过统一检测操作流程、参数选取与质量控制措施，力求使不同工况下的检测结果具有更高的可比性与可复核性，可为钢芯铝绞线的状态评价与检修决策提供规范化技术依据。

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。

本文件由深圳供电局有限公司提出。

本文件由深圳市电力行业协会归口。

本文件起草单位：深圳供电局有限公司、哈尔滨工业大学（深圳）、哈尔滨全安测控技术有限公司、深圳市滨能电气科技有限公司。

本文件主要起草人：詹威鹏、刘丙财、王振华、陈满庭、王宏、潘学伟、王灿、孙丽、刘如海、房志文、焦康、冯伟、林华盛、毋松涛、蔡祖建、何腾、台运福、黄晓霖、李鑫、朱敏杰、许万里、李成成、吕谢超、李嘉、毛骏。

本文件为首次发布。

1 范 围

本文件规定了输电线路钢芯铝绞线（ACSR）超声导波无损检测与评价的方法总则、术语和定义、检测对象与缺陷类型界定、检测系统与换能器要求、检测流程与判定方法、质量控制与准确率评估以及检测报告编制与数据归档等内容。

本文件适用于架空输电线路中钢芯铝绞线（ACSR）的超声导波无损检测与评价的实施、质量控制及检测结果报告编制。其他结构类似的架空导线或架空地线（如铝包钢芯铝绞线、铝包钢绞线、镀锌钢绞线等）的超声导波检测可参照本文件执行。

本文件适用的钢芯铝绞线标称截面范围为 $10 \text{ mm}^2 \sim 800 \text{ mm}^2$ 。本文件适用的技术路线包括磁致伸缩换能器、压电超声换能器、电磁超声换能器（EMAT）等多种超声导波激励与接收方式。

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 1179—2017 圆线同心绞架空导线

GB/T 9445 无损检测 人员资格鉴定与认证

GB/T 12604.1 无损检测 术语 超声检测

GB/T 20737 无损检测 通用术语和定义

GB/T 31211.1—2024 无损检测 超声导波检测 第1部分：总则

GB/T 31211.2—2024 无损检测 超声导波检测 第2部分：磁致伸缩法

GB/T 43480—2023 无损检测 相控阵超声柱面成像导波检测

DL/T 409—2015 电业安全工作规程

DL/T 675—2014 电力行业无损检测人员资格考核规则

ISO 4773:2023 Non-destructive testing — Ultrasonic guided-wave testing using the phased-array technique

ISO 9712:2021 Non-destructive testing — Qualification and certification of NDT personnel

ASTM E2775-16(2023) Standard Practice for Guided Wave Testing of Above Ground Steel Pipework Using Piezoelectric Effect Transduction

T/CSTM 00213—2020 无损检测 输电线路架空地线电磁超声导波检测方法

BS EN ISO 22232-2:2020 Non-destructive testing — Characterization and verification of ultrasonic test equipment — Part 2: Probes

3 术语、定义和缩略语

GB/T 12604.1、GB/T 20737、GB/T 31211.1—2024 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1 超声导波 ultrasonic guided wave

在波导结构中沿其延伸方向传播，受结构边界约束并具有频散和多模态特性的超声波。其传播速度随频率变化，且存在多种振动形式（模态），适用于长距离、大范围的缺陷筛查。

3.1.2 钢芯铝绞线 aluminum conductor steel reinforced; ACSR

以镀锌钢线为芯部、以硬铝线为外层，经同心绞合制成的架空导线。

[来源：GB/T 1179—2017，3.1，有修改]

3.1.3 换能器 transducer

用于将电信号转换为声信号（激励）或将声信号转换为电信号（接收）的器件或装置，包括压电换能器、磁致伸缩换能器和电磁超声换能器（EMAT）等类型。

3.1.4 激励与接收 excitation and reception

通过换能器在导线中产生预定模态的超声导波，并接收经导线传播后返回的导波信号的全过程。激励端负责产生符合要求的导波信号，接收端负责捕捉缺陷反射或穿透后的信号并转换为电信号。

3.1.5 信噪比 signal-to-noise ratio; SNR

在指定检测频率范围和距离范围内，缺陷回波信号幅度与背景噪声信号幅度的比值，用分贝（dB）表示。计算公式为 $SNR=20\lg(\text{信号峰值}/\text{噪声有效值})$ ，是评估检测信号质量的核心指标。

3.1.6 缺陷定位 defect localization

利用超声导波传播速度、渡越时间（TOF）及回波信号特征，确定导线中缺陷轴向位置的方法。通过精确计算导波传播时间与速度的乘积，结合检测布设方式，实现缺陷位置的定量确定。

3.1.7 检出率 probability of detection; POD

在规定检测条件下，对给定类型和尺寸的缺陷能够被正确检测出的概率。通常通过盲测试验统计得出，是评估检测方法可靠性的关键指标。

3.1.8 准确率 accuracy

检测结果（包括缺陷有无、位置、严重程度等）与真实情况一致的程度，通常综合反映检出率、误报率和漏报率。准确率越高，检测结果的可信度越强。

3.1.9 扫查 scan

换能器沿导线轴向、周向或指定区域移动并采集导波信号的过程。分为轴向扫查（用于确定缺陷轴向位置）和周向扫查（用于确定缺陷周向范围），可根据检测需求组合使用。

3.1.10 参考当量 reference equivalent

在规定检测条件下，将缺陷回波与参考反射体的反射波进行比较后确定的等效尺寸或当量值。通常以已知尺寸的人工缺陷为参考，用于估算实际缺陷的严重程度。

3.1.11 截面积损失比 cross-sectional area loss ratio

导线局部横截面积相对于公称横截面积减少的百分比。计算公式为：截面积损失比=（公称横截面积-缺陷处实际横截面积）/公称横截面积×100%，是缺陷分级的核心评价指标。

3.1.12 频散 dispersion

超声导波传播速度（相速度或群速度）随频率变化的现象。频散会导致导波信号包络展宽，影响缺陷定位精度，需通过频散补偿技术进行修正。

3.1.13 群速度 group velocity

超声导波包络能量传播的速度。在导波检测中用于根据渡越时间计算缺陷的轴向位置，单位为米每秒（m/s），需通过标定试验确定具体数值。

3.1.14 导波检测 guided wave testing; GWT

利用超声导波对被检对象进行无损检测的方法，又称为长距离超声检测（LRUT）或导波超声检测（GWUT），通常作为一种筛查工具，通过检测截面或刚度变化来发现缺陷或其他特征。

3.1.15 铝包钢芯铝绞线 Aluminium Conductor Aluminium-Clad Steel Reinforced; ACSR/AW

和钢芯铝绞线结构类似，中心加强芯由“镀锌钢绞线”改为“铝包钢绞线”。

[来源：GB/T 1179-2017]

3.2 缩略语

ACSR：钢芯铝绞线（Aluminum Conductor Steel Reinforced）

ACSR/AW：铝包钢芯铝绞线（Aluminium Conductor Aluminium-Clad Steel Reinforced）

SNR：信噪比（Signal-to-Noise Ratio）

POD：检出率（Probability of Detection）

TOF：渡越时间（Time of Flight）

GWT：超声导波检测（Guided Wave Testing）

GWUT：导波超声检测（Guided Wave Ultrasonic Testing）

LRUT：长距离超声检测（Long Range Ultrasonic Testing）

EMAT：电磁超声换能器（Electromagnetic Acoustic Transducer）

2D-FFT: 二维快速傅里叶变换 (Two-dimensional Fast Fourier Transform)

SAFE: 半解析有限元法 (Semi-analytical Finite Element)

STFT: 短时傅里叶变换 (Short-Time Fourier Transform)

PZT: 锆钛酸铅 (Lead Zirconate Titanate)

SMPC: 喷涂式磁致伸缩粉末涂层 (Sprayed Magnetostrictive Powder Coating)

4 总 则

4.1 超声导波检测应遵循下列基本原则：

a) **适用性原则：**根据被检导线的结构特征、预期缺陷类型和检测目标，选择适宜的导波模式、频率范围、换能器类型及布置方式。导波检测（GWT）本质上属于长距离快速筛查方法，所提供的是缺陷的定性筛查和定位信息，不直接给出缺陷的精确壁厚或尺寸测量值。具体的验收准则应由系统使用方或工程责任方在合同中规定；

b) **可复核性原则：**检测流程、参数设置、校准条件及结果判定依据应具有可追溯性和可复核性，确保不同装备、不同人员在不同工况下所得结果的一致性，偏差不应超过 ± 3 dB（幅值）和 $\pm 1\%$ （定位）；

c) **安全性原则：**现场检测作业应遵守国家及所属电力企业的电力安全工作规程，确保作业人员和设备安全，带电检测时安全距离应符合 DL/T 409—2015《电业安全工作规程》要求。

4.2 检测人员应持有 DL/T 675—2014 规定的电力行业无损检测人员资格，或持有 GB/T 9445 规定的超声检测资格证书（II 级及以上），并经过本文件所涉及方法的技术培训，熟悉导波检测系统操作与导线结构特点，考核合格后方可独立开展检测工作。人员资格的鉴定与认证宜参照 ISO 9712:2021 的相关要求进行，资格证书应在有效期内。

4.3 检测所使用的仪器设备应符合本文件第 6 章的规定，并在计量检定/校准有效期内使用；关键参数应具有可调、可显示和可记录功能。换能器性能的标定与验证可参照 BS EN ISO 22232-2:2020 的相关方法进行，检定/校准周期不应超过 12 个月。

4.4 检测作业前，应针对被检对象和现场条件编制书面检测工艺规程或作业指导书，其内容至少应包括检测对象信息、检测范围、检测系统配置与参数、校准方法、扫查策略及验收准则等。工艺规程应经技术负责人审核批准后实施。当被检导线存在内部或外部涂层、绝缘层或其他特殊覆盖层时，应评估其对导波传播的影响并调整相应的工艺规程，必要时进行局部剥离处理。

4.5 导波检测可用于检测以下工况的导线：

- a) 正常运行状态下的架空导线；
- b) 停电检修期间的架空导线；
- c) 停运状态下的导线区段。

对于带电运行导线的检测，应满足电力安全工作规程规定的安全距离和防护要求，优先采用非接触式换能方式（如 EMAT 等），作业人员应穿戴绝缘防护用具，设专人监护。

4.6 本文件规定的检测方法适用于环境温度为 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 至 $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度不大于 90%（无凝露）的现场作业条件。当现场环境温度超出此范围时，应评估温度对换能器性能、

耦合效果及导波传播特性的影响，并在检测报告中注明，必要时暂停检测。

5 检测对象与缺陷类型界定

5.1 检测对象与范围界定

5.1.1 检测对象为架空输电线路中运行的钢芯铝绞线（ACSR）和铝包钢芯铝绞线（ACSR/AW），其型号、规格与结构应符合 GB/T 1179—2017 的规定。导线由镀锌钢芯线(或者铝包钢芯)和硬铝线经同心绞合构成，典型结构参数应包括铝股层数、每层根数、钢芯层数及根数、单线直径及公称截面积等，常用规格包括 ACSR-70/40、ACSR-95/15、ACSR-95/55、ACSR-120/20、ACSR-185/30、ACSR-240/40、ACSR-300/25、ACSR-300/40、ACSR-400/35、ACSR-400/50、ACSR-630/45、ACSR-720/50、ACSR-800/55，铝包钢芯铝绞线的常用规格和钢芯铝绞线一一对应。

5.1.2 本文件适用的导线标称截面范围为 $10\text{ mm}^2 \sim 800\text{ mm}^2$ 。对于超出此范围的导线，以及铝包钢芯铝绞线、铝包钢绞线和镀锌钢绞线等结构类似的线材，经工艺试验验证后，可参照本文件执行，试验验证报告应作为检测依据存档。

5.1.3 单次有效检测距离应根据所选导波模态、工作频率、导线规格与状态及换能器发射功率等因素综合确定。在采用常规压电或磁致伸缩换能器条件下，单端激励有效检测距离一般不小于 10 m，最大检测距离不宜超过 200 m；采用电磁超声或其他高能激励方式时，可通过现场试验确定最大检测距离，通常不超过 300 m。通过频散补偿技术可进一步扩展检测范围，提高远距离缺陷信号的辨识能力。

5.1.4 导线运行状态对其导波传播特性存在显著影响。导线内部的股间接触压力随运行张力和环境工况变化，直接改变导波的耦合条件和传播特性。检测前应通过资料查阅与现场勘查，了解并记录以下信息：

- a) 导线型号、规格、结构参数（铝股层数、根数，钢芯规格及根数）；
- b) 设计张力与实际运行张力水平（设计张力通常为导线拉断力的 40%~60%）；
- c) 运行年限及所在区域的环境条件（沿海盐雾区、工业污染区、重冰区、普通农村或城市区域等）；
- d) 历史断股、磨损、修补和改造记录；
- e) 导线表面外观（有无明显变形、锈蚀、散股、电弧烧伤、护线条或预绞丝补修痕迹等）。

应结合导线实际状态，综合评估导波检测的可行性与局限性，对运行年限超过 20 年、腐蚀严重的导线，应适当缩短检测距离、提高检测频率。

5.2 典型缺陷类型与检测目标

5.2.1 本文件主要针对以下几种典型缺陷：

a) **断股缺陷：**钢芯或铝股中一股或多股发生断裂，引起局部机械强度下降和截面突变。按发生部位可分为钢芯断股与铝股断股。断股通常发生在导线与金具连接区域、导线遭受外力损伤区域或长期振动疲劳区；钢芯断股危害程度高于铝股断股，单根钢芯断股即需重点关注。

b) **磨损缺陷：**外层铝股之间或铝股与金具（如防振锤、间隔棒、护线条）之间因长期微风振动、次档距振动和摩擦而造成的局部材料减薄或缺口。磨损常见于档距内防振装置安装点和悬垂线夹出口处，磨损深度超过铝股直径的 1/3 时，需纳入关注范围。

c) **腐蚀缺陷：**在沿海盐雾、工业酸性气氛或潮湿环境中，导线钢芯和铝股发生的均匀腐蚀、点蚀、晶间腐蚀及应力腐蚀开裂等。铝股的电化学腐蚀常发生在与钢芯接触的界面，具有隐蔽性强、不易从外观发现的特点，均匀腐蚀导致截面损失比超过 3% 时可被有效检测。

5.2.2 检测目标应至少包含：

- a) 判断被检区段内是否存在 5.2.1 所述的典型缺陷；
- b) 确定缺陷的轴向位置（定位），定位误差不大于 $\pm (0.5\% \times \text{检测距离} + 0.15 \text{ m})$ ；
- c) 评估缺陷引起的等效截面积损失程度，给出截面损失比的估计值，误差不大于 $\pm 1\%$ ；
- d) 依据评定结果给出处理建议，为运行检修决策提供依据。

5.2.3 导波检测的结果属于筛查性质的结果。对判定为 III 级（严重）或 IV 级（危急）的缺陷，宜在后续检修作业中辅以其他无损检测方法（如射线检测、相控阵超声局部检测、涡流检测等）进行定点定量验证，确保缺陷评估的准确性。

6 检测系统与换能器要求

6.1 检测系统组成与功能要求

6.1.1 检测系统应至少由导波激励与接收单元、换能器（传感器）、信号采集与处理单元、显示与存储单元组成。还应配备必要的辅助装置，如导线表面清理工具（砂纸、抹布、除油剂等）、耦合剂施加装置、换能器定位与夹持机构（弹性夹具、磁吸底座等）、便携式电源模块（输出电压 12V/24V，容量不小于 10000mAh）及安全防护设备（绝缘手套、安全帽、安全带等）。

6.1.2 导波激励与接收单元应满足以下要求：

- a) 能产生中心频率 20 kHz～500 kHz 范围内的单频正弦脉冲串或调频激励信号，频率可调步距不大于 1 kHz；
- b) 支持采用汉宁（Hanning）窗、汉明（Hamming）窗或其他窗函数调制的激励信号，以抑制频谱泄漏和距离旁瓣；
- c) 具有足够的发射功率，使在最大规定检测距离处可获得信噪比不低于 12 dB 的有效信号。激励信号峰值电压宜在 200 V～1000 V 范围内可调，发射功率不小于 50W；
- d) 接收通道应具备可调增益范围不小于 60 dB、增益步距不大于 1 dB，并具有带通滤波功能，滤波器高低截止频率可独立设置。接收通道的等效输入噪声应不大于 20 μ V（RMS），通道数不少于 2 个。

6.1.3 信号采集与处理单元应满足以下要求：

- a) 采样频率不低于所设激励频率上限的 2.5 倍，推荐采用 5～10 倍过采样，以保证时域波形的精确还原；
- b) 模数转换（A/D）分辨率不低于 16 bit，确保足够的动态范围以同时捕捉强信号和弱回波；
- c) 具备信号平均功能，平均次数可在 1～512 次范围内设置，通过时域叠加有效抑制随机噪声；
- d) 具备时域波形显示、频谱分析（FFT）、短时傅里叶变换（STFT）或等效时频分析功能；
- e) 具备导波频散补偿功能或可通过后处理软件实现频散补偿，以提高远距离缺陷的距离分辨力；
- f) 有足够的存储空间，可保存原始 A 扫描波形数据与处理结果，存储格式应采用开放或可导出的通用格式（如 CSV、二进制等），避免使用专用封闭格式，存储容量不小于 16GB。

6.1.4 显示与存储单元应能清晰显示 A 扫描波形、检测参数设置和分析判读结果；显示屏尺寸不小于 7 英寸，分辨率不低于 1024×600；原始数据及后处理结果可导出为通用格式，供进一步分析、复核或利用第三方软件进行高级后处理，支持 USB 接口导出。

6.2 换能器/传感器与耦合方式要求

6.2.1 可选用的换能器类型包括：

a) 压电超声换能器：利用压电材料的正/逆压电效应实现电-声转换。通常需要液态或半固态耦合剂来实现声阻抗匹配和声能的有效传递；中心频率范围 20kHz～500kHz，直径 10mm～20mm，灵敏度不低于 -60dB。

b) 磁致伸缩换能器：利用铁磁性材料的磁致伸缩效应实现电-声转换，适用于钢芯等铁磁性材料的导波激励与接收。可采用喷涂式磁致伸缩粉末涂层（SMPC）技术在导线表面形成换能器，实现导波的激励和接收。具体可参照 GB/T 31211.2—2024 中相关方法框架；工作温度范围 -20℃～50℃，使用寿命不低于 1000 次检测循环。

c) 电磁超声换能器（EMAT）：通过洛伦兹力或磁致伸缩机制直接在导电或铁磁材料表面产生超声波，一般无需耦合剂，安装灵活性较高，适合粗糙表面或温度偏高的现场条件。EMAT 可安装在导线外层铝股表面，利用磁致伸缩效应在钢芯中激励和接收导波；工作频率范围 30kHz～200kHz，磁场强度不大于 50mT，避免对周边电子设备造成干扰。

d) 其他换能器类型：当采用创新型换能器（如喷涂式涂层换能器等）时，应在工艺规程中详细说明其原理、性能参数和适用条件，并应通过前期试验验证后方可使用，试验验证需包含灵敏度、稳定性、检测距离等指标。

6.2.2 换能器性能应符合：

a) 中心频率偏差不超过标称值的 $\pm 10\%$ ；
b) -6 dB 相对带宽不宜小于 20%，以满足所选模态频率范围需求；
c) 在检测工况下，连续稳定工作时长不低于 2 h，在此期间灵敏度漂移不应超过 ± 2 dB；

d) 换能器在安装和拆卸过程中不应导线本身造成机械损伤或新的表面缺陷，夹持压力控制在 50N～100N；

e) 电磁超声换能器（EMAT）的磁场强度应控制在不对周围电子设备和人员造成影响的范围内。装有心脏起搏器等有源医疗器械的人员不应靠近强磁场换能器，安全距离不小于 1m。

f) 换能器性能的标定和验证可参照 BS EN ISO 22232-2:2020 的探头特性要求和现场验证程序执行，每 6 个月标定一次。

6.2.3 换能器与导线表面的耦合方式应能保证声能有效注入导线内部。可根据检测工况和换能器类型选择以下方式：

a) **液态或半固态耦合剂耦合**：适用于压电换能器。耦合剂应均匀满布换能器与导线之间的接触面，厚度 $0.1\text{mm} \sim 0.3\text{mm}$ 。耦合剂宜选用声阻抗适中（ $1.5 \times 10^6 \sim 2.5 \times 10^6 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ）、挥发性低、低温不凝结（ -20°C 不结冰）、高温不流淌（ 50°C 不滴落）的类型，且不应导致导线材料造成腐蚀，推荐选用硅基耦合剂或甘油耦合剂。

b) **干耦合或机械夹持耦合**：通过弹性压接装置或机械夹具实现换能器与导线的紧密接触，适用于不便使用液态耦合剂的现场条件；夹持压力应均匀，避免换能器损坏或导线变形。

c) **电磁耦合（EMAT）**：通过电磁场实现非接触式能量传递。应确保线圈或磁铁与导线表面的间距保持在设备说明书规定的范围内（典型值为 $0.5 \text{ mm} \sim 3 \text{ mm}$ ）。导线表面应保持良好导电性，无严重氧化层或绝缘涂层剥离，氧化层厚度不超过 0.1mm 。

6.3 系统核查与性能确认

6.3.1 检测前应用标定导线或对比试块对系统的下列性能进行核查：

- a) 检测灵敏度；
- b) 信噪比；
- c) 动态范围；
- d) 定位精度；
- e) 系统频响特性。

标定导线或对比试块的材质、规格、绞合结构应与待检导线相同或相近，长度不小于 10m ，其上至少包含一处已知尺寸的人工缺陷，建议该人工缺陷的等效截面积损失比为 $3\% \sim 5\%$ ，且不少于两处不同位置的人工缺陷（间距不小于 2m ）以验证定位精度。对比试块的设计可参照 GB/T 43480—2023 的对比试块要求，人工缺陷宜采用机械刻槽或钻孔方式制作，尺寸偏差不大于 $\pm 0.1\text{mm}$ 。

6.3.2 核查中若发现性能偏离规定值，应查找原因并进行调整或维修；经重新核查合格后方可继续使用。核查中采集的数据和判读结果应一并记录并存档，存档期限不少于 5 年。

6.3.3 检测过程中应在以下时机进行功能校验：

- a) 每日检测开始前和全部检测结束后；
- b) 连续工作每 4 h 间隔；
- c) 环境温度波动超过 $\pm 10^\circ\text{C}$ 时；
- d) 更换检测人员或换能器后；
- e) 更换检测位置或导线区段后。

对于功能的现场快速校验，可使用已知特征回波（如导线端面回波、永久标记的结构特征信号或对比试块中的已知反射体信号等）进行验证，其幅度变化不宜超过 $\pm 3 \text{ dB}$ ，渡越时间偏差不宜超过 $\pm 0.5\%$ 。校验不合格时，应暂停检测，重新校准后再继续作业。

7 检测流程与判定方法

7.1 检测准备

7.1.1 收集并核实被检导线信息，至少应包括：

- a) 线路名称、电压等级及杆塔号区间；
- b) 导线型号、规格、绞合结构（铝股层数与每层根数、钢芯规格与根数）；
- c) 公称截面积；
- d) 设计及实际运行张力；
- e) 运行年限和环境类别；
- f) 历史缺陷情况、维修及技术改造记录，包括导线修补（护线条安装、预绞丝补修）的位置和范围。

上述信息应填写入检测记录表，确保信息完整、准确，无遗漏。

7.1.2 对待检导线区段进行外观目视检查，记录裸露表面的腐蚀等级、局部磨损沟槽、断股痕迹、电弧烧伤斑、护线条或预绞丝补修情况、防振锤及间隔棒安装位置等可见异常，并评估其对换能器安装与导波耦合的影响。对目视可见的严重缺陷，应在检测前拍照记录，照片应包含缺陷位置标识，分辨率不低于 1920×1080 像素。

7.1.3 根据导线材质及规格、预判缺陷类型和检测距离要求，选择适宜的导波模态和工作频率。推荐：

a) 对于钢芯断股、腐蚀等以钢芯截面变化为主的缺陷，优先选用以钢芯中传播为主的模态，如轴对称纵波模态 $L(0,1)$ 、 $L(0,2)$ 或扭转模态 $T(0,1)$ ，其中 $T(0,1)$ 模态在一定频率范围内近似无频散，有利于远距离检测和信号处理；

b) 对于以铝股损伤为主要关注对象的检测场景，也可适当选择在铝股中能量占比较高的模态作为补充，但应注意与钢芯模态信号的区分；

c) 工作频率宜选择频散曲线较平坦的区域，例如对于截面积在 $120 \text{ mm}^2 \sim 400 \text{ mm}^2$ 的导线，导波中心频率常用范围为 $40 \text{ kHz} \sim 150 \text{ kHz}$ ，频率上限一般不超过 500 kHz 。具体频率应通过理论频散计算（如利用半解析有限元法 SAFE 建模）或标定试验确认；

d) 采用压电换能器阵列时，可使用剪切模式的锆钛酸铅（PZT）换能器阵列在透射法或脉冲回波法配置下进行检测，阵列元素数量不少于 8 个，间距不大于 5 mm 。

7.1.4 换能器安装位置应选在导线表面平整、清洁、无明显氧化皮和油污的区域，避开金具、补修点及明显缺陷处，安装位置距金具边缘不小于 1 m 。安装前应对耦合面进行清洁处理，去除表面氧化层、油脂、灰尘和腐蚀产物，清洁面积不小于换能器接触面积的 1.5 倍。采用液态耦合剂时，耦合剂应均匀满布接触面，无气泡和空隙。采用电磁超声换能器时，应确保导线表面良好导电且无明显绝缘层剥离，必要时用砂纸或钢丝刷进行局部打磨，

打磨后表面粗糙度 $Ra \leq 1.6\mu m$ 。

7.2 布设方式与检测策略

7.2.1 按换能器布置方向与检测目的，可采用以下方式：

a) 反射法（单端激励-接收/脉冲回波法）：在导线一端或一处安装激励与接收换能器（或收发一体的换能器），利用导波从缺陷处反射的回波进行检测。该方法适用于缺陷筛查和快速长距离检测，通过分析反射回波的到达时间和幅度来定位和评估缺陷；单端激励覆盖长度不超过 200m，相邻激励点重叠区长度不小于 10m。

b) 透射法（双端激励与接收）：在导线两端分别布置激励换能器和接收换能器，两端间距不小于 10m、不大于 300m，通过比较穿透信号的能量衰减来判断导线段整体截面变化。该方法适用于长距离衰减监测或存在较多结构特征回波干扰的场景，可与反射法配合使用。

7.2.2 检测策略选择：

a) 缺陷筛查：优先采用反射法，沿导线选定若干个激励位置进行分段覆盖，确保相邻激励位置的有效检测范围有适当重叠（重叠区长度不小于最大检测距离的 5%）。以沿导线轴向传播的导波为手段，通过检测截面变化和/或刚度变化来发现缺陷；

b) 可疑区段精细检测：对筛查中发现的异常回波区域，应采用更高分辨率的参数设置和加密扫查（换能器移动步距不大于选定模态波长的 1/8），结合多角度或不同模态组合进一步判别。对于复杂信号，可采用频散补偿算法对信号进行处理，以提高缺陷回波的距离分辨力和信噪比；

c) 状态跟踪对比：对已列入监测计划的导线区段，历次检测应尽量保持相同的换能器安装位置、参数设置和耦合方式，以便于数据趋势分析和缺陷演变跟踪，跟踪周期按缺陷等级确定。

7.2.3 反射法中，换能器安装在紧靠导线终端（如耐张线夹出口、跳线连接处）或靠近已知结构特征（如防振锤安装点）时，应注意这些结构边界产生的反射回波对缺陷信号的干扰，必要时设置合适的时间门限（门限范围根据检测距离设定）或使用结构回波抑制算法与参考信号差分技术，减少干扰影响。

7.2.4 换能器与导线之间的固定应稳固可靠，在整个检测过程中耦合状态不得有明显改变。对于长时间连续检测过程，应每 30 分钟检查一次耦合状态，并记录检查结果，发现耦合不良时及时调整。

7.3 数据采集与参数设置

7.3.1 典型的采集参数设置应满足：

a) 激励信号类型：推荐采用汉宁（Hanning）窗或汉明（Hamming）窗调制的正弦脉冲串信号（Tone-burst 信号），也可使用经窗函数加权的线性调频信号（Chirp）。单次激励脉冲串的周波数一般取 5~20 个周期，周波数较多时可提高单次激发能量但会降低距离分辨率，应根据检测距离和分辨率要求折中选择（长距离检测取 15~20 周波，短距离精细检测取 5~10 周波）；

b) 激励电压与功率：根据仪器性能和换能器承载能力及检测距离设置。脉冲激励峰值电压通常为 200 V~1000 V（峰峰值），发射功率应确保在最大检测距离处目标缺陷回波信噪比达到规定要求；

c) 接收增益：使有效信号幅度处于显示量程的 50%~80% 之间，保证信号既不被噪声淹没，也不发生饱和削波。通常接收增益设置为 40 dB~80 dB，根据实际信号强弱微调，增益调整步距不大于 1dB；

d) 采样频率：不低于激励频率上限的 2.5 倍，推荐为 5~10 倍。例如中心频率 100 kHz 时，采样频率宜设为 1 MHz 或更高，以保证时域波形的精确还原和后续信号处理的精度；

e) 采样点数：应使对应的时间窗口能包含从激励点到最远检测距离来回的渡越时间，并预留适当余量（余量不小于 10%）。采样点数一般不少于 4096 点，推荐不少于 8192 点；

f) 平均次数：根据现场信噪比确定，一般取 32~256 次。信噪比较低时可适当增加平均次数，但需在检测记录中注明实际使用的平均次数，平均次数过多时应适当延长采集时间。

7.3.2 每次采集均应保留原始 A 扫描波形数据及对应的采集参数文件，包括但不限于激励频率、周波数、峰值电压、增益设定、采样频率、采样点数、平均次数、滤波参数、温度等，文件命名应规范，便于检索。

7.3.3 同一位置至少进行 3 次独立采集，检查信号重复性。主冲击回波的到达时间偏差应小于采样间隔的 2 倍，幅度偏差不大于 ± 2 dB。若关键回波幅值重复性偏差超过 ± 2 dB 或到达时间偏差超出允许范围，需查找原因（如耦合不良、换能器松动等）并重新采集。

7.3.4 在检测过程中，宜至少采集并保存一组参考波形（基线波形），作为后续数据对比和趋势分析的基准。参考波形宜在导线投入使用初期或首次检测时获取，采集条件应与后续检测保持一致，基线波形应定期更新，更新周期不超过 1 年。

7.4 信号处理与特征提取

7.4.1 信号处理宜包含以下步骤：

a) 信号平均：对所有采集的重复波形进行时域平均，降低随机噪声，提高信噪比；平均次数与采集时一致，不得随意更改；

b) 带通滤波：以激励中心频率为中心，设置合适的带通滤波器，通常滤波频带为激励

中心频率的 $\pm 30\% \sim \pm 50\%$ 范围，抑制带外噪声和电磁干扰，滤波斜率不小于 20dB/十倍频；

c) 频散补偿（推荐采用）：根据所测导波模式的频散特性，可在时域或频域实施频散补偿。利用频散曲线数据，可采用后处理算法（如基于短时傅里叶变换 STFT 的频散补偿和互相关技术）对信号进行时域压缩，以提高缺陷回波的距离分辨力和信噪比，有效扩展检测范围；

d) 时频分析（可选）：可根据需要采用短时傅里叶变换（STFT）、小波变换或 Wigner-Ville 分布等方法，观察信号中不同模式在不同到达时间处的频率分布特性，辅助识别缺陷信号与导线结构特征的边界信号。

7.4.2 特征提取应至少包含：

- a) 各回波脉冲的到达时间及相对参考基准的渡越时间（TOF）；
- b) 回波幅度（峰值或 RMS 值）；
- c) 回波包络宽度（-6 dB 宽度），用于判断信号是否经频散展宽；
- d) 主要频率成分与激励频率的偏差，偏差不应超过 $\pm 10\%$ ；
- e) 信噪比（SNR），计算并记录缺陷回波与背景噪声的幅值比值，确保满足检测要求；
- f) 缺陷回波对应的等效截面积损失比，结合参考当量和标定数据进行估算。

7.4.3 信号处理过程中，应保留原始波形和各处理步骤的中间结果，不得对原始数据进行篡改或过度滤波，确保数据的可追溯性和可复核性。处理算法的参数设置应记录在案，便于后续复核和对比分析。

7.5 缺陷识别与定位

7.5.1 缺陷识别应基于经处理后的导波信号特征，结合导线结构信息、历史检测数据及现场工况，综合判断是否存在缺陷，避免将导线结构特征（如金具、补修点、绞合间隙）产生的回波误判为缺陷。

7.5.2 缺陷识别的判定依据：

- a) 存在明显的异常回波，且回波幅值高于背景噪声 12 dB 及以上（即 $\text{SNR} \geq 12 \text{ dB}$ ）；
- b) 异常回波的渡越时间（TOF）对应合理的缺陷位置，且排除导线端部、金具等已知结构特征的干扰；
- c) 同一位置多次采集的信号中，异常回波的重复性良好（幅度偏差 $\leq \pm 2 \text{ dB}$ ，到达时间偏差 $\leq$ 采样间隔的 2 倍）；
- d) 通过不同模式、不同检测方向的补充检测，异常回波特征可相互印证，排除虚假信号。

7.5.3 缺陷定位计算方法：根据导波群速度（ v ）和渡越时间（TOF），按以下公式计算缺陷轴向位置（ L ），定位误差应满足本文件 5.2.2b 条要求。

$$L = \frac{v \times \text{TOF}}{2}$$

式中：

L——缺陷轴向位置（单位：m）；

v——导波群速度（单位：m/s），由标定试验确定，偏差不超过±1%；

TOF——缺陷回波渡越时间（单位：s），从激励信号触发到缺陷回波峰值的时间间隔。

7.5.4 当检测区域存在多个缺陷时，应根据回波到达时间的先后顺序，逐一识别并定位，标注各缺陷的相对位置和信号特征，避免相互干扰。对于间距小于 0.5m 的相邻缺陷，应采用精细扫查模式，提高距离分辨力，确保准确区分各缺陷。

7.5.5 对于疑似缺陷信号，应结合现场目视检查、导线历史缺陷记录，必要时采用其他无损检测方法（如涡流检测、相控阵超声局部检测）进行验证，确认缺陷的真实性和具体情况。

7.6 缺陷评定与分级

7.6.1 缺陷评定应以缺陷引起的导线截面积损失比为核心指标，结合缺陷类型、位置、数量及导线运行工况，综合判定缺陷等级，为检修决策提供依据。

7.6.2 缺陷分级应符合表 1 的规定，分级结果应明确标注在检测报告中。

缺陷等级	截面积损失比	缺陷类型及特征	处理建议
I 级（轻微）	<3%	轻微铝股磨损、局部轻微腐蚀，无断股；钢芯无损伤	常规巡视，每年检测一次，跟踪缺陷变化
II 级（一般）	3%~5%（含 3%，不含 5%）	铝股局部磨损深度不超过铝股直径 1/3，或轻微均匀腐蚀；无钢芯断股	加强巡视，每 6 个月检测一次，评估缺陷发展趋势
III 级（严重）	5%~10%（含 5%，不含 10%）	铝股多股磨损、局部腐蚀严重，或单根铝股断股；钢芯无断股但存在轻微腐蚀	限期检修，3 个月内完成缺陷复核与处理，缩短检测周期至 3 个月
IV 级（危急）	≥10%	钢芯断股、多根铝股断股，或严重腐蚀导致截面损失严	立即停运检修，更换缺陷区段导线，避免发生安全事故

		重；缺陷位于导线 受力关键部位	
--	--	--------------------	--

7.6.3 特殊工况下的缺陷评定调整：

- a) 对于运行年限超过 20 年、腐蚀环境恶劣（如沿海盐雾区、工业污染区）的导线，缺陷分级阈值可降低 20%，即Ⅰ级与Ⅱ级分界调整为 2.4%，Ⅱ级与Ⅲ级分界调整为 4%，Ⅲ级与Ⅳ级分界调整为 8%；
- b) 对于跨越重要交通枢纽、河流、居民区的导线区段，缺陷分级从严，Ⅲ级及以上缺陷应立即安排检修；
- c) 钢芯断股无论截面积损失比大小，均至少评定为Ⅲ级缺陷，单根钢芯断股需限期检修，多根钢芯断股评定为Ⅳ级缺陷，立即处理。

7.6.4 缺陷评定后，应形成缺陷评定表，详细记录缺陷位置、类型、截面积损失比、分级结果及处理建议，作为检测报告的核心内容之一。

8 质量控制与准确率评估

8.1 质量控制要求

8.1.1 检测全过程质量控制应覆盖人员、设备、方法、环境、数据等各个环节，确保检测结果的准确性、可靠性和可复核性。

8.1.2 人员质量控制：检测人员应定期参加技术培训和考核，每年至少进行一次技能复核，考核不合格者暂停检测工作，重新培训考核合格后方可上岗；检测过程中应严格遵守检测工艺规程，不得擅自更改检测参数。

8.1.3 设备质量控制：

- a) 检测仪器设备应定期进行计量检定/校准，检定/校准周期不超过 12 个月，检定/校准报告应存档备查；
- b) 换能器每 6 个月进行一次性能标定，每次检测前进行功能核查，发现性能异常及时维修或更换；
- c) 辅助设备（如耦合剂、清洁工具、夹持机构）应定期检查，确保满足检测要求，耦合剂应在有效期内使用，避免因耦合剂失效影响检测效果。

8.1.4 方法质量控制：

- a) 检测工艺规程应经技术负责人审核批准，每次检测前应确认工艺规程的适用性，若导线规格、工况发生变化，应及时调整工艺规程并重新审核；
- b) 检测参数的设置应符合本文件要求，同一检测区段的参数设置应保持一致，不得随意更改；

c) 每次检测应进行系统性能核查和功能校验, 核查记录和校验结果应完整存档, 存档期限不少于 5 年。

8.1.5 环境质量控制: 现场检测环境应符合本文件 4.6 条的规定, 当环境温度、湿度超出范围或存在强电磁干扰时, 应暂停检测, 待环境条件满足要求后再继续作业; 检测过程中应记录环境参数, 作为检测结果分析的参考依据。

8.1.6 数据质量控制:

- a) 原始检测数据 (包括波形、参数、环境信息) 应完整记录, 不得遗漏或篡改, 数据存储格式应符合通用标准, 便于导出和复核;
- b) 数据处理应遵循规定的流程, 处理参数应记录在案, 中间结果和最终结果应可追溯;
- c) 检测数据应定期备份, 备份介质应安全可靠, 备份期限不少于 5 年, 确保数据不丢失。

8.2 准确率评估方法

8.2.1 检测准确率应通过盲测试验、现场验证试验等方式进行评估, 综合计算检出率 (POD)、误报率和漏报率, 确保检测方法的可靠性。

8.2.2 盲测试验:

- a) 选取与实际运行导线规格、结构相同的标定导线, 在导线不同位置设置不同类型、不同尺寸的人工缺陷 (如断股、磨损、腐蚀), 缺陷位置和尺寸对检测人员保密;
- b) 由不少于 2 名检测人员按照本文件规定的检测流程进行独立检测, 记录检测结果;
- c) 统计检出率 (POD)、误报率和漏报率, 计算公式如下:

$$\text{检出率 (POD)} = \frac{\text{正确检出的缺陷数量}}{\text{实际存在的缺陷数量}} \times 100\%$$

$$\text{误报率} = \frac{\text{误判为缺陷的非缺陷数量}}{\text{检测总点数}} \times 100\%$$

$$\text{漏报率} = \frac{\text{未检出的缺陷数量}}{\text{实际存在的缺陷数量}} \times 100\%$$

d) 盲测试验应每半年进行一次, 每次试验的检出率 (POD) 不应低于 90%, 误报率不应高于 5%, 漏报率不应高于 10%; 若未达到要求, 应分析原因, 优化检测工艺和人员技能。

8.2.3 现场验证试验: 对检测中发现的缺陷, 采用其他无损检测方法 (如射线检测、相控阵超声局部检测、涡流检测) 进行定点验证, 统计检测结果与验证结果的一致性, 一致性不应低于 95%。

8.2.4 准确率评估结果应记录在案, 作为检测方法优化、人员培训和设备改进的依据; 若评估结果不满足要求, 应暂停相关检测工作, 整改合格后再恢复检测。

9 检测报告编制与数据归档

9.1.1 检测完成后，应在 3 个工作日内编制检测报告，报告应完整、准确、规范，内容清晰，数据可靠，能够反映检测全过程和检测结果，为导线运维和检修决策提供依据。

9.1.2 检测报告应至少包含以下内容：

- a) 报告标题、编号（编号格式：T/SZEPI-XXXX-202X-检测年份-检测批次）；
- b) 检测委托单位、检测单位、检测日期、检测地点；
- c) 检测依据（本文件、相关国家标准、行业标准及检测工艺规程）；
- d) 被检导线信息（线路名称、电压等级、杆塔号区间、导线型号、规格、公称截面积、运行年限、设计及实际运行张力、环境类别等）；
- e) 检测设备信息（检测仪器型号、换能器类型及规格、辅助设备名称及规格、计量检定/校准情况）；
- f) 检测环境参数（检测时的温度、湿度、天气情况及电磁干扰情况）；
- g) 检测方法与参数（导波模态、工作频率、激励信号类型、采样频率、接收增益、平均次数等）；
- h) 检测结果（缺陷位置、类型、截面积损失比、分级结果、定位误差等）；
- i) 缺陷评定与处理建议（结合缺陷等级，提出具体的检修、维护或更换建议）；
- j) 质量控制情况（系统核查、功能校验、数据质量控制等）；
- k) 检测人员、审核人员、批准人员签字及日期；
- l) 附件（包括检测原始波形图、缺陷照片、标定记录、盲测试验报告、现场验证报告等）。

9.1.3 检测报告应采用 A4 纸张，格式规范，字迹清晰，不得涂改；涉及数据的部分应标注单位，保留必要的小数位数（截面积损失比保留 1 位小数，定位误差保留 2 位小数）。

9.1.4 检测报告应一式三份，分别由检测委托单位、检测单位、深圳市电力行业协会存档，必要时可增加份数，满足相关单位需求。

9.2 数据归档要求

9.2.1 检测相关数据应进行系统归档，归档内容包括检测报告、原始检测数据（波形文件、参数文件）、标定记录、功能校验记录、盲测试验报告、现场验证报告、人员资格证书、设备检定/校准报告等。

9.2.2 数据归档应采用电子归档与纸质归档相结合的方式：

- a) 电子数据应存储在专用服务器或存储设备中，加密保存，定期备份，确保数据安全，存储期限不少于 10 年；
- b) 纸质资料应整理成册，分类存放，标注归档日期和保管人，存放于干燥、通风、防盗、防火的档案柜中，保管期限不少于 10 年。

9.2.3 归档数据应便于检索和查阅，建立完善的档案检索系统，明确检索流程和权限，确保相关单位和人员在需要时能够快速获取所需数据。

9.2.4 超过保管期限的归档数据，应按照国家 and 行业相关规定进行处置，处置前应进行确认，确保无留存价值后再进行销毁，销毁记录应存档备查。

10 附录

附录 A （资料性附录）钢芯铝绞线超声导波检测常用参数

A.1 不同规格钢芯铝绞线常用导波参数推荐值见表 A.1。

导线型号 (ACSR)	公称截面积 (mm ²)	推荐导波模 态	中心频率 (kHz)	群速度 (m/s)	单端最大检 测距离 (m)
ACSR-70/40	110	L(0, 1)	30~100	5000~5050	130
ACSR-95/15	110	T(0, 1)、 L(0, 1)	50~100	3200~3400	150
ACSR-95/55	153	L(0, 1)	50~100	5000~5050	80
ACSR- 120/20	140	T(0, 1)、 L(0, 1)	40~90	3150~3350	160
ACSR- 185/30	215	T(0, 1)、 L(0, 2)	40~80	3100~3300	180
ACSR- 240/40	280	T(0, 1)、 L(0, 2)	35~70	3050~3250	190
ACSR- 300/25	333	L(0, 1)	50~100	5000~5050	100
ACSR- 300/40	339	L(0, 1)	50~100	5000~5050	100
ACSR- 400/35	425	L(0, 1)	50~100	5000~5050	110
ACSR- 400/50	450	T(0, 1)、 L(0, 2)	30~60	3000~3200	200
ACSR- 630/45	675	T(0, 1)、 L(0, 2)	30~50	2950~3150	190

ACSR-720/50	775	L (0, 1)	50~100	5000~5050	120
ACSR-800/55	855	T (0, 1)、 L (0, 2)	25~45	2900~3100	180

A.2 不同换能器类型适用场景及参数推荐值见表 A.2。

换能器类型	适用场景	中心频率范围 (kHz)	耦合方式	适用导线表面 状态
压电超声换能器	停电检修、短 距离精细检测	20~500	液态/半固态耦 合剂	表面清洁、无 明显氧化层
磁致伸缩换能器	钢芯缺陷检 测、长距离筛 查	20~200	SMPC 涂层耦合	表面可喷涂涂 层，无严重腐 蚀
电磁超声换能器（EMAT）	带电检测、表 面粗糙导线检 测	30~200	电磁耦合（非 接触）	表面导电、无 厚绝缘层

附录 B （规范性附录）钢芯铝绞线超声导波检测工艺规程模板

B.1 工艺规程基本信息

规程名称：_____（线路名称）钢芯铝绞线超声导波检测工艺规程

规程编号：_____

编制人：_____ 编制日期：_____

审核人：_____ 审核日期：_____

批准人：_____ 批准日期：_____

生效日期：_____

B.2 检测依据

- a) T/SZEPI XXXX—202X《输电线路导地线超声导波无损检测与评价标准》；
- b) GB/T 31211.1—2024《无损检测 超声导波检测 第 1 部分：总则》；
- c) GB/T 31211.2—2024《无损检测 超声导波检测 第 2 部分：磁致伸缩法》；
- d) DL/T 409—2015《电业安全工作规程》；
- e) 被检导线相关技术资料。

B.3 检测对象与范围

- a) 线路名称: _____ 电压等级: _____
- b) 杆塔号区间: _____ 导线类型: ACSR _____
- c) 导线规格: 公称截面积 _____ mm², 铝股层数/根数 _____, 钢芯层数/根数 _____

d) 检测范围: _____ (具体区段, 如#1 杆塔至#2 杆塔之间导线)

e) 检测工况: ☐ 正常运行 ☐ 停电检修 ☐ 停运状态

B.4 检测设备与材料

a) 检测仪器: 型号 _____, 量程 _____, 计量检定/校准日期 _____, 有效期至 _____

b) 换能器: 类型 _____, 中心频率 _____ kHz, 灵敏度 _____ dB, 标定日期 _____

c) 辅助设备: _____ (如清洁工具、耦合剂、夹持机构、便携式电源等)

d) 安全防护设备: _____ (如绝缘手套、安全帽、安全带等)

B.5 检测环境要求

a) 环境温度: _____ °C (-20°C~50°C)

b) 相对湿度: _____ % (≤90%, 无凝露)

c) 天气情况: ☐ 晴朗 ☐ 多云 ☐ 其他 _____, 无强风、暴雨、雷电等恶劣天气

d) 电磁干扰: ☐ 无明显干扰 ☐ 有干扰, 已采取 _____ 防护措施

B.6 检测参数设置

a) 导波模态: _____

b) 中心频率: _____ kHz

c) 激励信号类型: _____ (如汉宁窗调制正弦脉冲串)

d) 激励周波数: _____ 个周期

e) 激励峰值电压: _____ V

f) 接收增益: _____ dB

g) 采样频率: _____ MHz

h) 采样点数: _____ 点

i) 平均次数: _____ 次

j) 带通滤波范围: _____ kHz~ _____ kHz

B.7 检测流程

a) 检测准备: 收集导线信息、目视检查、设备核查、换能器安装与清洁;

b) 参数设置: 按照本模板 B.6 条设置检测参数, 进行系统性能核查;

c) 数据采集: 按反射法/透射法布设换能器, 采集原始波形数据, 每位置采集不少于 3 次;

- d) 信号处理：进行信号平均、带通滤波、频散补偿等处理，提取信号特征；
- e) 缺陷识别与定位：结合信号特征和现场工况，识别缺陷并计算缺陷位置；
- f) 缺陷评定：根据截面积损失比，按本文件 7.6 条进行缺陷分级；
- g) 现场验证：对疑似缺陷采用_____方法进行验证；
- h) 数据归档：整理检测数据和记录，编制检测报告。

B.8 质量控制措施

- a) 设备核查：检测前核查仪器性能、换能器状态，记录核查结果；
- b) 参数控制：检测过程中不得擅自更改检测参数，记录参数调整情况；
- c) 数据控制：保留原始波形和处理结果，确保数据可追溯；
- d) 人员控制：检测人员持证上岗，严格遵守操作规程。

B.9 安全注意事项

- a) 带电检测时，作业人员应穿戴绝缘防护用具，保持安全距离，设专人监护；
- b) 高空作业时，应系好安全带，做好防坠落措施；
- c) 检测过程中，避免换能器碰撞导线，防止导线损伤；
- d) 遵守现场安全管理规定，严禁违规操作。

附录 C （资料性附录） 超声导波检测相关术语英文对照表

C.1 核心术语英文对照见表 C.1。

中文术语	英文术语	缩写（如有）
超声导波	Ultrasonic Guided Wave	无
钢芯铝绞线	Aluminum Conductor Steel Reinforced	ACSR
换能器	Transducer	无
信噪比	Signal-to-Noise Ratio	SNR
渡越时间	Time of Flight	TOF
检出率	Probability of Detection	POD
超声导波检测	Guided Wave Testing	GWT
长距离超声检测	Long Range Ultrasonic	LRUT

	Testing	
电磁超声换能器	Electromagnetic Acoustic Transducer	EMAT
截面积损失比	Cross-sectional Area Loss Ratio	无
频散	Dispersion	无
群速度	Group Velocity	无