T/CECS XXX—202X

中国工程建设标准化协会标准

磁通量法索构件缺陷检测规程

Specification for Magnetic Flux Method

for Cable Defect Detection

（征求意见稿）

XX 出版社

中国工程建设标准化协会标准

磁通量法索构件缺陷检测规程

Specification for Magnetic Flux Method

for Cable Defect Detection

T/CECS XXX-202X

主编单位：上海市建筑科学研究院有限公司

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：20××　年　×　月　　日

XX 出版社

20XX　北　　京

前　言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发<2018 年第二批协会标准制订、修订计划>的通知》（建标协字〔2018〕030 号）的要求，规程编制组在广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国内外现行标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本规程。

本规程共分为 6 章，主要内容包括：总则、术语、检测方法、检测设备、现场检测、数据处理与缺陷评估。

请注意本规程的某些内容可能直接或间接涉及专利，本规程的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本规程由中国工程建设标准化协会检测与试验专业委员会归口管理，由上海市建筑科学研究院有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中，如有意见或建议，请反馈给上海市建筑科学研究院有限公司（地址：上海市申旺路 519 号，邮编：201108）。

主　编　单　位：　上海市建筑科学研究院有限公司

参　编　单　位：

主 要 起 草 人：

主 要 审 查 人：

目 次

1 总则 1
2 术语 2
3 检测方法 3
3.1 检测方法分类 3
3.2 检测方法适用范围 3
4 检测设备 5
4.1 设备组成 5
4.2 技术性能要求 6
4.3 设备校准 7
4.4 设备运输和存放 7
5 现场检测 9
5.1 前期准备 9
5.2 现场准备 10
5.3 爬升检测 10
5.4 数据记录 11
6 数据处理与缺陷评估 12
6.1 局部损伤 12
6.2 金属横截面损失 13
用词说明 14
附：条文说明 15

Contents

1 General Provisions 1
2 Terms 2
3 Testing Methods 3
3.1 Classification of Testing Methods 3
3.2 Scope of Application of Testing Methods 3
4 Testing Equipment 5
4.1 Equipment Composition 5
4.2 Technical Performance Requirements 6
4.3 Equipment Calibration 7
4.4 Equipment Transportation and Storage 7
5 On-Site Testing 9
5.1 Preliminary Preparation 9
5.2 Site Preparation 10
5.3 Climbing Inspection 10
5.4 Data Recording 11
6 Data Processing and Defect Evaluation 12
6.1 Localized Damage 12
6.2 Loss of Metal Cross-Section 13
Explanation of wording 14
Addition: Explanation of provisions 15

1 总则

1.0.1 为指导索构件内部金属缺陷的磁通量法无损检测，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于采用电磁、主磁通、漏磁、剩磁等基于磁通量法对铁磁性索构件自由段索体的金属横截面变化和损伤的检测。

1.0.3 索构件缺陷检测除应符合本规程规定外，尚应符合国家现行有关标准和现行中国工程建设标准化协会有关标准的规定。

2 术语

2.0.1 主磁通 Total axial magnetic flux

被磁化索构件截面内流动的磁通。

2.0.2 漏磁通 Magnetic flux leakage

被磁化索构件由于内部不连续，不在索体截面内流动的磁通。

2.0.3 霍尔传感器 Hall sensor

根据霍尔效应制作的一种磁场传感器。

2.0.4 局部损伤 Local Flaw（LF）

索构件钢丝绳中的不连续，诸如断丝、蚀坑、磨损槽口或其它钢丝绳局部物理状态的退化等。

2.0.5 金属横截面损失 Loss of metallic cross-sectional area（LMA）

索构件钢丝绳上特定区域中材料（质量）缺损的相对度量，是用仪器检测并通过比较检测点与钢丝绳上象征最大金属横截面的基准点来测定的。

3 检测方法

3.1 检测方法分类

3.1.1 磁通量法检测应根据检测目的、设备条件等因素选择基于一种或多种检测参数的方法用于索构件缺陷检测。

3.1.2 电磁法、主磁通法、剩磁法可用于测量钢索金属截面损失（LMA）。

3.1.3 漏磁法、剩磁法可用于测定钢索是否存在局部损伤（LF）。

3.2 检测方法适用范围

3.2.1 磁通量法可用于铁磁性索构件金属横截面损失和损伤的检测。

3.2.2 电磁法、主磁通法和剩磁法所测得的金属横截面损失（LMA），表示相对于设备基准点处的变化，可通过已知基准点面积的换算得到绝对损失面积。

3.2.3 漏磁法和剩磁法所测得的局部损伤（LF），可表征局部损伤是否存在，不宜用于定量判断损伤程度。

3.2.4 漏磁法对以下情况较难判断，不宜使用：

1 带有蚀坑的断丝情况；

2 钢索内多根钢丝断丝位置附近的单根断丝情况；

3 由纯金属学引起的钢索退化情况。

3.2.5 剩磁法对以下情况较难判断，不宜使用：

1 检测时有外磁场干扰的情况；

2　钢索采用相对磁导率低的铁磁性材料。

3.2.6 索构件抽检比例应按表 3.2.6 确定。

表 3.2.6 索构件抽检比例

索构件类型	服役年限			
	1~5 年	5~10 年	10~15 年	15 年以上
拉索	10%	30%	50%	100%
吊索	15%	40%	60%	100%
其它承载索系	15%	40%	60%	100%

4 检测设备

4.1 设备组成

4.1.1 检测设备应包含磁场激励装置、磁场检测传感器、位置传感器、数据存储装置、通讯装置、数据分析显示装置、供电装置以及适合在索构件表面移动的构造装置。

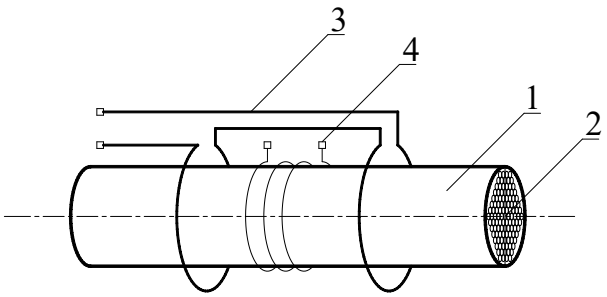
4.1.2 不同检测方法适配的磁场激励和磁场检测装置组合可参考图 4.1.2。

1 电磁法可采用如图 4.1.2（a）所示的交流激励和探测线圈原理的检测设备；

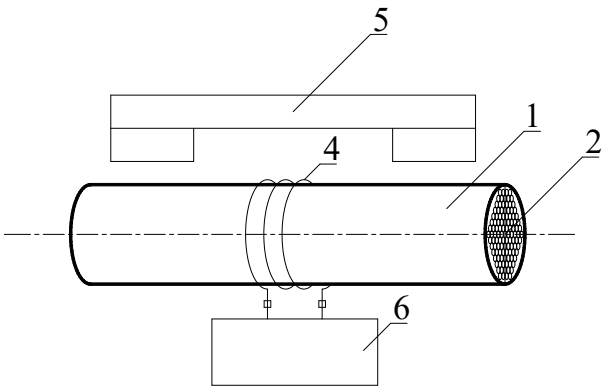
2 主磁通法可采用如图 4.1.2（b）、（c）所示的直流或永磁铁激励和各类磁通检测传感器结合的检测设备；

3 漏磁法可采用如图 4.1.2（c）所示的直流或永磁铁激励和各类漏磁检测传感器结合的检测设备。

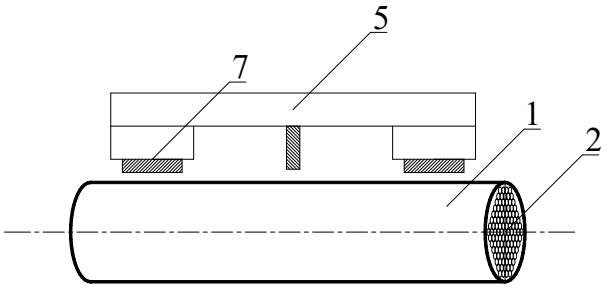
4 剩磁法可采用如图 4.1.2（d）所示的前置交流激励和各类剩磁检测传感器结合的检测设备。



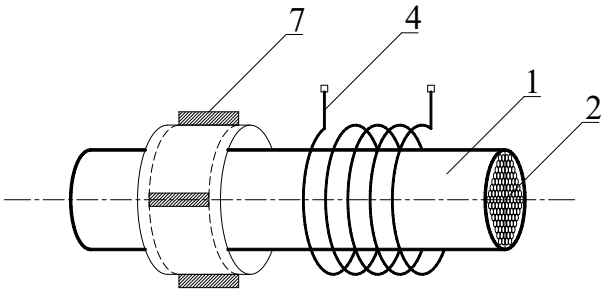
（a）交流激励和探测线圈



（b）永磁铁和探测线圈



（c）永磁铁和霍尔元件



（d）交流激励和霍尔元件

图 4.1.2 常见磁场激励和磁场检测装置组合示意图

1——索护套；2——钢索；3——激励线圈；4——探测线圈；5——永磁铁；6——采集仪；7——霍尔元件

4.2 技术性能要求

4.2.1 检测设备应在下列条件下正常工作：

1 环境温度 0℃～+50℃；

2 空气相对湿度不大于 90%。

4.2.2 钢条对比试样中断口宽度大于 1.5mm 的断丝，应能通过局部损伤（LF）检测检出，提示方式可是报警、式波或其他方式。

4.2.3 钢条对比试样中断口宽度大于 25mm 的断丝，应能通过金属截面损失（LMA）检测检出，提示方式可是报警、式波或其他方式。

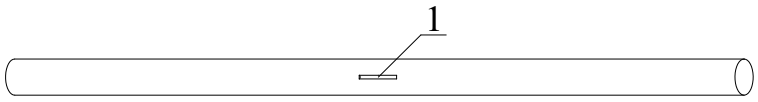
4.2.4 供电装置应能支持设备连续工作 2 小时及以上。

4.2.5 设备构造装置应能适应在表面有坑槽、螺旋线等构造措施的索构件上稳定移动。

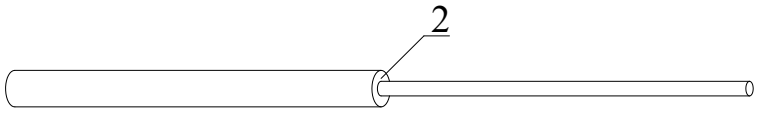
4.2.6 索构件缺陷沿索长方向的定位精度不应低于 3%。

4.3 设备校准

4.3.1 设备校准可采用钢条对比试样。钢条对比试样已知的参数应至少包括：钢条直径、长度、损伤位置和损伤程度信息。钢条对比试样形式如图 4.3.1 所示，试样长度应超过设备长度，直径不应小于 1.6mm。典型的对比试样断口长度包括 1.5mm、3mm、6mm、12mm、25mm、50mm 等。



（a）钢条局部损伤对比试样



（b）钢条金属截面损失对比试样

图 4.3.1 钢条对比试样示例

1——表面切口；2——截面积变化

4.3.2 检测前宜采用实际使用中产生损伤、且损伤程度已知的真实构件进行设备自校准，校准数据可用于检测索体绝对损失面积的结果核对。

4.4 设备运输和存放

4.4.1 设备运输过程中应避免冲击、振动和 60℃以上的高温。

4.4.2 设备存放时，箱内应有防振和防湿措施。长期存放的环境温度宜控制在-10°～+40℃，相对湿度宜控制在 90%以下，钢铁件应每隔 2 个月涂油一次，避免锈蚀。

4.4.3 设备存放室内不得有腐蚀气体，保持地面无振动。

5 现场检测

5.1 前期准备

5.1.1 在开展现场检测前，应收集被检索构件的信息，包括：

1 环境信息；

2 交通信息；

3 索构件尺寸和构造信息；

4 索构件历史检测信息等。

5.1.2 在开展现场检测前，应进行现场踏勘，检查被测索构件是否存在强电磁干扰。同时检查索构件表面是否存在阻碍检测的物体，包括减振器、卡箍、亮化设施、监测设备等，若对检测产生影响，应在制定检测方案时考虑对阻碍物的临时拆除和恢复，并提前向管理部门报备。

5.1.3 应根据索构件尺寸选取与索构件直径适配的检测设备型号，使索构件外径和传感器检测头内径之间的间距最小。

5.1.4 应根据现场环境和交通情况，制定现场检测实施方案，明确：

1 人员组成；

2 设备选型；

3 设备牵引方法；

4 现场交通组织；

5 检测时间计划；

6 应急预案等内容。

5.1.5 对被检索构件投影面积下方有行人、行车或其他设施设备的情况，应明确是否封闭相关区域开展检测作业。若采用不封闭作业方式，应采取有效措施，防止检测过程对投影区域的影响。

5.1.6 检测设备从存放室取出后，应在运输前进行一次完整的测试，确保设备各项功能正常。

5.2 现场准备

5.2.1 采用电磁法在检测之前应先对钢索进行退磁处理。

5.2.2 采用主磁通法或漏磁通法，应通过重复检测数据对比确认钢丝绳被均匀磁化。

5.2.3 开始检测前，应通过测量钢条对比试样和预估被检索构件损伤程度来设定恰当的传感器灵敏度。对较难估计损伤程度的情况，可通过一次测试结果评估当前灵敏度是否恰当，若不满足应调整灵敏度后重新进行测试：

1 所有检测数据没有超量程情况；

2 最大检测数据超过设备量程的 80%。

5.2.4 应调整设备机构，使传感器的中心与被检索构件处于同一轴心线上。

5.3 爬升检测

5.3.1 现场可通过卷扬机、爬索机器人、手拉葫芦等方式牵引检测设备沿索轴线进行检测，同一根索构件检测时应采用一致的牵引速度。

5.3.2. 对一根索的检测应至少记录爬升、下降两阶段的检测数据，或两次相同方向运动的检测数据。对结果有疑议时可进行多次重复操作。

5.3.3 当对同一根索进行多次检测时，设备应保持前一次测试时的安装前后位置关系，应避免反向安装。

5.4 数据记录

5.4.1 除磁通量检测数据外，下列信息应作为检测数据记录：

1 检测日期；

2 检测人员姓名；

3 检测项目编号；

4 委托客户；

5 索构件标识；

6 索构件尺寸；

7 设备序列号；

8 设备校准状态；

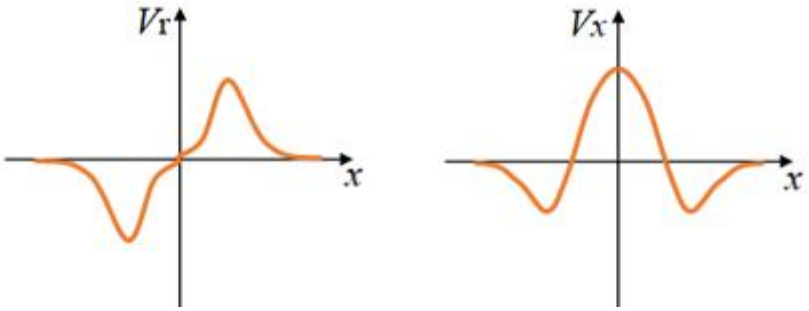
9 检测速度。

5.4.2 检测数据应归档留存，宜采用电子化方式存档。保存期限不少于 6 年。

6 数据处理与缺陷评估

6.1 局部损伤

6.1.1 局部损伤数据导出后，原始数据可直接经人工判断确定损伤数据，或采用机器学习方法由计算机辅助识别。采用系统内置算法或机器学习算法自动判断的损伤数据应再由检测人员进行复核（图 6.1.1）。



a）径向漏磁数据特征　　b）轴向漏磁数据特征

图 6.1.1 典型局部损伤的漏磁数据特征

6.1.2 局部损伤沿索构件的纵向位置信息应予以记录。

6.1.3 对检测设备采用多个磁场传感器阵列式布置的局部损伤数据，宜通过优化算法分析推断损伤在截面上的位置，并予以记录（图 6.1.3）。

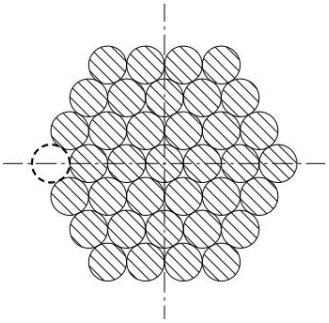


图 6.1.3 局部损伤的截面位置信息示意图

6.2 金属横截面损失

6.2.1 金属截面损失，宜采用截面相对损失率表示，表征测试截面相对于基准点截面的金属面积损失与测量基准点截面面积之比。绝对的截面面积损失可通过设备现场检测前基于钢条对比试样的校准数据计算得到。

6.2.2 金属横截面损失检测结果表示相对于设备基准点处的变化。测量基准点的面积，绝对损失面积可通过基准点的面积与对应位置金属横截面损失（LMA）的乘积计算得到。

6.2.3 索构件金属横截面相对损失率应采用下式计算：

$$a=(S_1-S_0)/S_0 \qquad (6.2.3)$$

式中：a——金属截面相对损失率（%）；

S_0——钢丝标称有效截面积（mm^2）；

S_1——钢丝实测有效截面积（mm^2）。

6.2.4 单根索构件截面损失评估宜根据索构件金属截面相对损失率 a 与金属横截面损失（LMA）幅值损失长度占索构件长度的占比 b 进行分级，应按表 6.2.4 取值。

表 6.2.4　拉吊索整体评估对应表

损失量	损伤长度占比			
	b＜5%	5%≤b＜15%	15%≤b＜40%	40%≤b＜60%
a＜1%	正常	正常	正常	正常
1%≤a＜3%	正常	轻微	轻微	中度
3%≤a＜5%	轻微	中度	中度	严重
a≥5%	严重	严重	严重	严重

6.2.5 金属横截面损失评估结果为轻微锈蚀的索构件，在加强养护条件、确定横截面积损失率不增加的情况下继续使用；评估为中度锈蚀的索构件，应增加检测频率，至少 1 年一次，在金属横截面损失不增加的情况下继续使用；评估为严重锈蚀的索构件，应谨慎使用，接近上限应立即更换。

用词说明

1　为便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1）表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2）表示严格，在正常情况均应这样做的用词：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

3）表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

4）表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。

2　条文中指明应按其他有关标准执行的写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”。

中国工程建设标准化协会标准

磁通量法索构件缺陷检测规程

Specification for Magnetic Flux Method

for Cable Defect Detection

条 文 说 明

制定说明

本规程制定过程中，编制组进行了索构件病害检测方法、磁通量法检测技术发展情况、现有检测设备企业以及典型检测案例的调查研究，总结了我国磁通量法索构件缺陷检测的实践经验，同时参考了国外先进技术法规、技术标准，通过典型索构件病害开窗对比等方式对磁通量法技术进行了研究和验证。

为便于广大技术和管理人员在使用本规程时能正确理解和执行条款规定，《磁通量法索构件缺陷检测规程》编制组按章、节、条顺序编制了本规程的条文说明，对条款规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项等进行了说明。本条文说明不具备与标准正文及附录同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

目　次

1 总则 18
3 检测方法 19
4 检测设备 20
5 现场检测 21
6 数据处理与缺陷评估 23

1 总则

1.0.3 磁通量法是一种相对检测方法，需要被检索的单根构件沿轴线方向的技术条件尽可能保持一致，索构件端部构造与索体自由段差异较大，检测结果可比性差，因此较难判断端部的损伤。

3 检测方法

3.1 检测方法分类

3.1.1 磁通量法根据检测原理可细分为电磁法、主磁通法、漏磁法、剩磁法等方法，检测人员应根据检测目的、设备条件等因素选择一种最合适的检测方法，或多种方法融合应用相互校核，用于索构件缺陷检测。

3.1.2 电磁法将钢索作为介质，使探测线圈在激励交流电的作用下产生次级电压，通过测量该电压的变化反映钢索金属截面损失（LMA）。主磁通法利用外部激励使索构件内钢索均匀磁化，通过测量钢索磁通量的变化反映钢索金属截面损失（LMA）。剩磁法通过测量被磁化钢索在无外加磁场影响下剩余磁场的变化测定钢索的金属截面损失（LMA）。

3.1.3 漏磁法通过测量被均匀磁化钢索外部泄露的磁场判断钢索是否存在局部损伤（LF）。剩磁法通过测量被磁化钢索在无外加磁场影响下剩余磁场的变化判断钢索的局部损伤（LF）。

3.2 检测方法适用范围

3.2.1 磁通量法基于电磁感应原理，被检测索构件必须是铁磁性材质，如铸铁、不锈钢等。

3.2.3 漏磁法和剩磁法测量得到的表征局部损伤的原始数据大小，与局部损伤与传感器的距离相关。相同程度的局部损伤，索体径向方向表面的局部损伤和内部的局部损伤产生的数据大小不同，因此不能直接通过数据判断局部损伤的程度。

3.2.6 纯金属学引起的退化情况如钢丝脆性退化、钢丝疲劳损伤等。

4 检测设备

4.1 设备组成

4.1.1 磁场激励装置可分为交流电磁激励装置、直流激励装置、永磁铁激励装置等，用于对被检索构件进行机磁场激励。位置传感器磁场检测传感器包括探测线圈、霍尔传感器等，可用于检测索构件的主磁通、漏磁通或剩磁。位置传感器可采用编码器，可用于测量设备沿索构件轴线的位置，使磁通量传感器的数据与位置信息进行对应，同时输出检测速度信息。

4.3 设备校准

4.3.2 设备测量索构件实际使用过程中产生损伤的数据特点，与设备对人工模拟损伤的标准标定构件检测数据特点可能不同。设备校准中损伤可以通过人工增减钢丝产生金属截面变化、切割产生钢丝断裂和局部切口等方式模拟。

5 现场检测

5.1 前期准备

5.1.3 索构件铁磁性钢结构外径和传感器检测头内径之间的孔隙越小越好。理论研究表明，传感器与整股钢绳外表面的距离 h，对传感器获取的信号强度影响较大。距离 h 约大，信号强度越弱（图 5.1.3）。

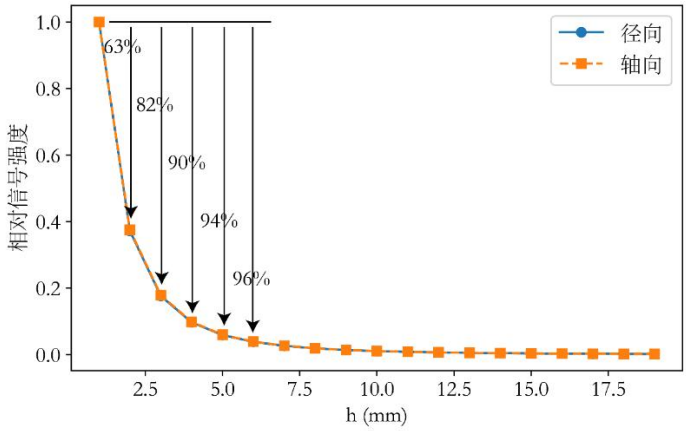


图 5.1.3 基于磁偶极子模型的漏磁场信号强度衰减曲线

5.1.5 采用倾斜索面的拱桥、斜拉桥，索体投影面积内一般均有行车道，检测过程中可能存在牵引绳入侵行车区域、设备零部件掉落桥面等安全隐患，需要在现场作业前详细论证，确保安全。

5.2 现场准备

5.2.1 电磁法一般是在较低磁场强度下工作，若被检测钢索已被磁化、存在较强磁场，会影响检测结果的准确性。

5.3 爬升检测

5.3.3 反向安装会导致前后两侧检测过程中磁激励设备激发的磁场方向相反，产生消磁效果，导致磁场强度减弱，影响测试结果。

6 数据处理与缺陷评估

6.1.2 纵向位置信息可直接根据设备位置传感器获得，部分内置算法设备的损伤数据横轴即为位置数据。