

ICS

中国标准分类号

团 体 标 准

T/CEMIA ×××-××××

电解铜箔 X 射线在线厚度/面密度测量系统

X-ray on-line thickness / area density measurement system for electrolytic copper foil

2022-12-18 发布

2022-12-18 实施

中国电子材料行业协会 发布

前 言

本文件按照GB/T1.1-2020《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这些专利的责任。

本标准由中国电子材料行业协会提出并归口

本标准主要起草单位：蓝冰河（常州）精密测量技术有限责任公司

本标准参与起草单位：诺德投资股份有限公司、远东铜箔(宜宾)有限公司、新疆亿日铜箔科技股份有限公司

本标准主要起草人：彭智、严循东、丁瑜、付文峰、李富明、张陈亚、张红亮

电解铜箔 X 射线在线厚度/面密度测量系统

1 范围

本标准规定了电解铜箔X射线在线厚度/面密度测量系统（以下简称“厚度/面密度测量系统”）的术语和定义、结构与命名、要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输和贮存。

本标准适用于电解铜箔的X射线在线厚度/面密度测量产品，用于电解铜箔厚度/面密度的高精度测量，并通过SPC、MSA等管理手段提升电解铜箔的加工质量。本标准可推广应用到锂电池正/负极极片涂布、铝箔、钢带、塑料、纸张、橡胶板等行业基材的在线厚度与面密度测量相关产品中。

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 191-2008 包装储运图示标志

GB/T 5048-2017 防潮包装

GB/T 5230-2020 印制板用电解铜箔

GB/T 13283-2008 工业过程测量和控制用检测仪表和显示仪表精确度等级

GB/T 17212-1998 工业过程测量和控制 术语和定义

GB/T 17626.2-2018 电磁兼容 试验和测试技术 静电放电抗扰度试验

GB/T 17626.3-2016 电磁兼容 试验和测量技术 射频电磁场辐射抗扰度试验

GB/T 17626.4-2018 电磁兼容 试验和测量技术 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验

GB/T 17626.5-2019 电磁兼容 试验和测量技术 浪涌(冲击)抗扰度试验

GB 18871-2002 电离辐射防护与辐射源安全基本标准

GB 50093-2013 自动化仪表工程施工及质量验收规范

GB 50168-2018 电气装置安装工程电缆线路施工及验收标准

3 术语和定义

GB/T 17212确立的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

电解铜箔 X 射线在线厚度/面密度测量系统

系统由X射线探测器、扫描架、扫描运动与控制系统、嵌入式核心控制单元、测量工作站机柜和测量软件系统等部分组成。其利用X射线穿透电解铜箔时，X射线强度的变化与铜箔厚度相关的特性，测定电解铜箔的厚度（面密度），具有在线测量、实时线图呈现、数据存储、SPC分析、MSA分析、过程控制与MES接口等功能，以更好地提高电解铜箔品质与降本降耗。

3.2

电解铜箔厚度测量值

用厚度/面密度测量系统所测量得出的电解铜箔总厚度值，单位为 μm 。

3.3 电解铜箔标称厚度

根据电解铜箔单位面积质量计算所得的厚度值，单位为 μm 。

3.4 电解铜箔面密度测量值

用厚度/面密度测量系统所测量得出的电解铜箔单位面积质量，单位为 g/m^2 。

3.5

面密度与厚度转换系数

厚度与面密度之间的比列关系，通过该系数把面密度转换成厚度，或将厚度转换成面密度。

3.6

示值

厚度/面密度测量系统在测量过程中所显示的相关参数值，如厚度/面密度的实测值、温度、湿度、卷长、走带速度、扫描速度、标准差、基材宽度等参数值。

3.7

基准值

被测量电解铜箔的目标规定值，用于作为确定基准误差时的参考。

3.8

绝对误差

示值和实测值的绝对误差。

3.9

基准误差

绝对误差与基准值的比值。

3.10

量程

指厚度/面密度测量系统的测量范围上限值和下限值的代数差，或测量范围上限值和下限值。

3.11

测量范围

指测量系统中由两个被测量值或两个施加量值限定的范围，在该范围内规定厚度/面密度测量系统的不确定测量度。

3.12

重复精度

指电解铜箔在多次扫描测量下，每次被测量的平均量变化所表现出来的测量差值。重复精度受驱动系统特性、进给系统的间隙与刚性以及摩擦特性等因素的影响，是呈正态分布的偶然性误差。

3.13

定点测量

定点测量是用于对电解铜箔的纵向厚度/面密度的均匀性进行的一种定量分析测量，以辅助用户对电解铜箔生产线进行调试，提高产品质量。

3.14

产品标定

产品标定是通过X射线探测器原始测量值、实验室测量值之间的多点数据，找到其对应的函数关系，以达到对电解铜箔厚度/面密度的精准测量。探测器原始测量是通过X射线穿过铜箔的衰减量和实际物理量之间的函数关系进行的。

3.15

扫描速度

系统测量时，X射线探测器在扫描架的运行速度，对应测量系统工作时的实时测量采样的频率，单位为毫米/秒（或米/分钟）。

3.16

控制上限

被测量的电解铜箔厚度/面密度在合格范围内，最优的上偏差控制值。

3.17

控制下限

被测量的电解铜箔厚度/面密度在合格范围内，最优的下偏差控制值。

3.18

规格上限

被测量的电解铜箔厚度/面密度在合格范围内的上偏差控制值。

3.19

规格下限

被测量的电解铜箔厚度/面密度在合格范围内的下偏差控制值。

3.20

采样数据间隔距离

指X射线探测器沿扫描走向，在两相邻取样信号之间的距离。采样数据间隔距离可根据被测电解铜箔的质量要求进行相应调整。

3.21

预热时间

指X射线探测器从加电时刻到可以测量使用时刻所经历的时间，X射线探测器的规格不同，预热时间有所变化。

3.22

SPC

统计过程控制（Statistical Process Control）的英文缩写，它是一种借助数理统计方法的过程控制工具。它对生产过程进行分析评价，根据反馈信息及时发现系统性因素出现的征兆，并采取措施消除其影响，使过程维持在仅受随机性因素影响的受控状态，以达到控制质量的目的。

3.23

MSA

测量系统分析（Measurement Systems Analysis）的英文缩写，它使用数理统计和图表的方法对测量系统的分辨率和误差进行分析，以评估测量系统的分辨率和误差对于被测量的参数来说是否合适，并确定测量系统误差的主要成分。

3.24

MES 系统接口

厚度/面密度测量系统与客户MES系统（Manufacturing Execution System 制造执行系统）之间进行数据传输的一种数字通讯接口，通过该接口可将测量系统的相关数据信息传送至客户MES系统，以更好地实现电解铜箔企业的生产信息化管理。

3.25

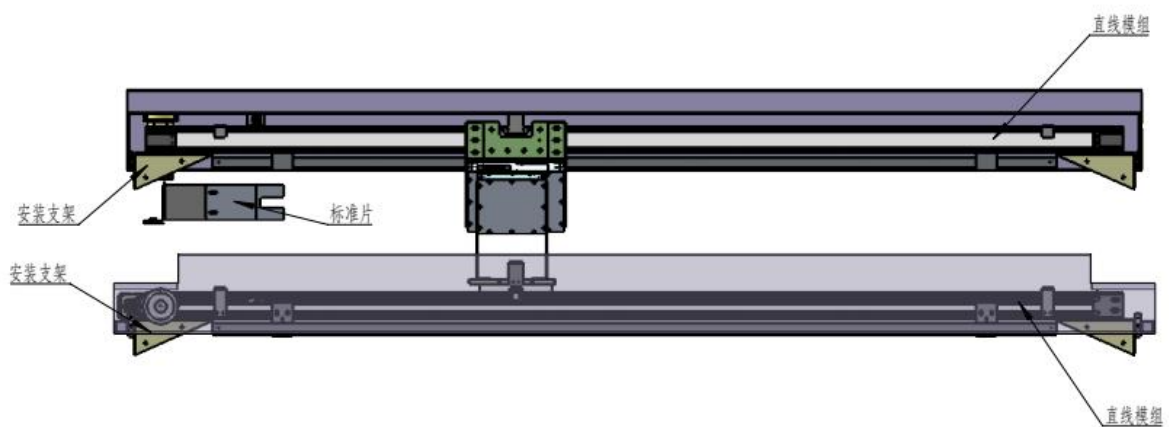
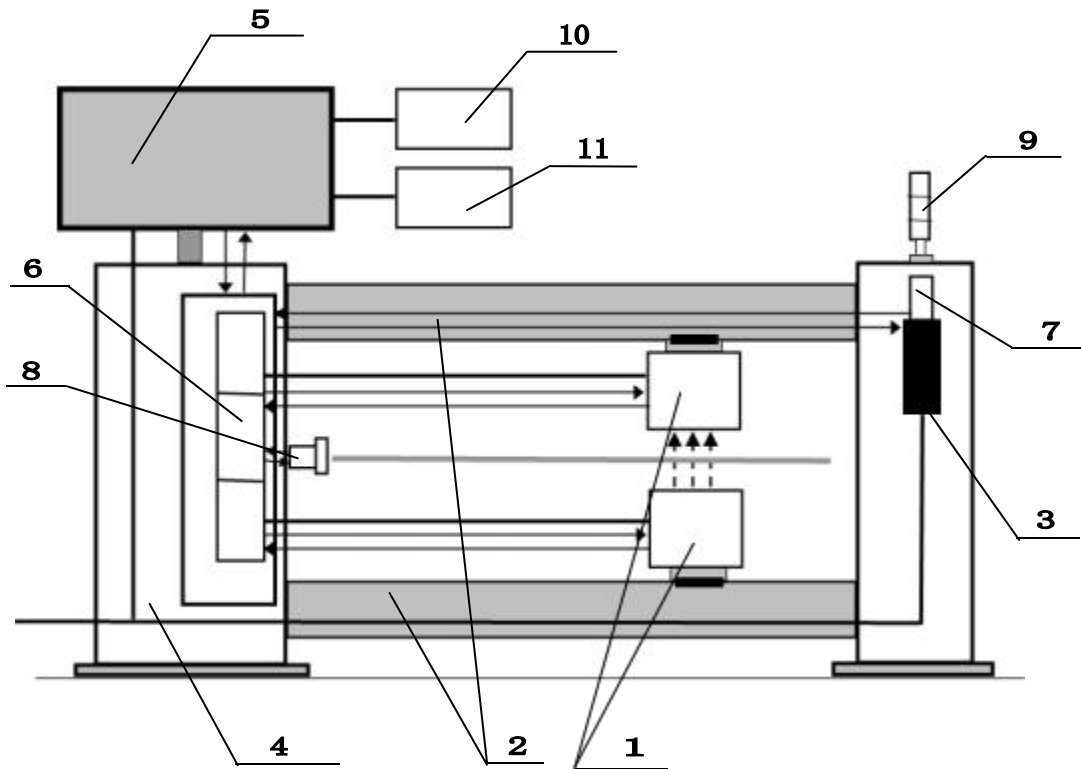
闭环控制系统

闭环控制系统是一种自动控制系统，其根据厚度/面密度测量系统输出的信息来进行电解铜箔厚度/面密度的自动调节。通过闭环控制系统能实现电解铜箔生产线的横向厚度（面密度）、纵向厚度（面密度）的控制，对电解铜箔进行品质控制。

4 结构与命名

4.1 电解铜箔 X 射线在线厚度/面密度测量系统组成结构

电解铜箔X射线在线厚度/面密度测量系统的组成结构如图1所示，生箔机安装示意图如图2所示。

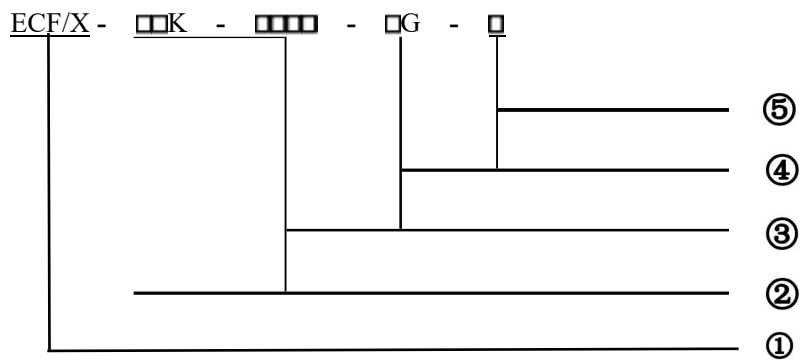


1—X射线探测器；2—扫描架；3—扫描运动与控制系统；4—测量工作站机柜系统；5—测量与分析软件系统；6—嵌入式核心控制单元；7—驱动装置编码器；8—测长测速编码器；9—工作状态指示；10—MES系统接口；11—闭环控制系统。

图1 电解铜箔 X 射线在线厚度/面密度测量系统组成结构图

4.2 命名

4.2.1 命名规则



4.2.2 命名意义

- ①： ECF/X， ECF为电解铜箔（Electrolytic Copper Foil）的缩写， X表示采用X射线方法测量。
- ②： □□K表示放射源的类别， 05K表示X射线探测器为5Kev的超软低能探测器， 20K表示X射线探测器为20Kev的低能探测器。
- ③： □□□□表示X射线在线厚度/面密度仪所测电解铜箔的幅宽。
- ④： □G表示测量扫描架的类别， OG表示O型扫描架， CG表示C型扫描架， HG表示双伺服扫描架。
- ⑤： 厚度/面密度测量系统的精确度等级， 符合《GB/T 13283-2008 工业过程测量和控制用检测仪表和显示仪表精确度等级》要求， 分为 0.05， 0.1， 0.2， 0.5， 1.0， 1.5， 2.5， 5.0八个等级， 依次用 A、 B、 C、 D、 E、 F、 G、 H表示。 对应关系见下表：

精确度等级	0.05	0.1	0.2	0.5	1.0	1.5	2.5	5.0
等级对应字符	A	B	C	D	E	F	G	H

4.2.3 示例

ECF/X-05K-1400-OG-D表示该电解铜箔X射线在线厚度/面密度测量系统采用的X射线探测器为5Kev超软低能探测器， 其测量的电解铜箔幅宽为1400mm， 采用O型扫描架进行厚度/面密度测量， 其测量精确度等级为D级， 与0.5级测量仪器的精度等级相对应。

5 要求

5.1 通用技术要求

5.1.1 正常工作条件

- 工作环境温度： $-10 \sim 50^{\circ}\text{C}$ ；
- 工作环境湿度： $\leq 70\%RH$ ；
- 工作电源： 电压为 $220V \pm 20V$ ， 频率为 $50\text{Hz} \pm 1\text{Hz}$ ， 且有良好接地装置；
- 设备远离强电场或强电磁干扰源（如交流电柜、电火花机等）；
- 设备远离震动源（如冲床、震动机等）。

5.1.2 外观要求

- 设备的铭牌应固定在明显的位置上， 且标有设备名称、型号、额定电压、制造日期、出厂编号、制造厂名及 CPA 等标志。
- 设备的表面不应有明显锉痕、划伤、裂缝、变形和污染， 设备表面涂镀层应均匀， 不应出现起泡、龟裂、脱落和磨损。
- 产品组装坚固、零部件紧固无松动， 按键、开关门锁等配合适度， 控制灵活可靠。外壳应耐腐蚀， 防尘防潮。

5.2 总体性能要求

5.2.1 实时在线测量功能

系统应具有扫描测量、定点测量、循环定点测量多种实时在线测量功能，并对所测量的数据进行实时显示，定点测量与扫描测量可以切换，定点测量位置和测量周期可任意设定。

5.2.2 实时线图呈现功能

系统应能实时显示单次扫描横向面密度剖面图、单次扫描横向分区直方图、横向面密度剖面分区多次叠加图、横向面密度剖面分区趋势线/平均线、整卷纵向面密度趋势线与平均线、多次测量曲线等线图，并对来回扫描的重复性进行显示。

5.2.3 智能标定功能

系统应具有智能标定和自动拟合功能，并自动识别当前标定有效性。系统可存储的标定配方组数不受限制，使用时可直接载入调用。

5.2.4 自校准补偿功能

系统应具有全轨道偏差矫正和自校准补偿功能，能定期扫描测量原始轨道空气吸收值，进行全轨道零点矫正补偿，将测量系统受扫描架机械形变影响降到最低。自动对机械、传感器进行在线校准，确保系统的测量精度。

5.2.5 参数添加与编辑功能

系统应具有参数添加功能，如设备、人员、来料、产品、工艺等生产信息相关的功能参数的添加，并具有参数编辑功能，相关参数能显示在数据文件和品质报告中，以便于查询、追溯。

5.2.6 品质过程控制

系统应能实现电解铜箔厚度/面密度目标线、规格上下限、品质控制上下限等五线品质控制，并具有多重预警、报警设置功能，以实现电解铜箔品质的过程控制。

5.2.7 数据存储与查询功能

系统应具有基于数据库的海量全价值测量数据excel格式存储与导出，数据查询与追溯功能，能提供电解铜箔厚度/面密度数据的横向和纵向位置数据。具有历史曲线复显功能，可查询任意卷料的测量曲线，包括整卷趋势线、任一次测量的面密度平均线和分区平均线。

5.2.8 数据分析与质量管理功能

系统应具有SPC统计过程控制数据自动分析功能，以辅助电解铜箔的生产决策。在每卷结束后能自动生成品质卷报，对电解铜箔的厚度/面密度一致性进行综合性评定；能实时监控电解铜箔的生产过程，对生产过程中的相关参数进行监控，并对异常趋势提出预警，以便生产管理人员及时采取措施，消除异常，恢复生产过程的稳定。

5.2.9 MSA 测量系统分析功能

系统应具有MSA分析功能，能利用分辨率RE%、能力指标Cg、Cgk、重复性和再现性GR&R、可区分类别数NDC等参数对厚度/面密度测量系统的偏倚（Bias）、线性（Linearity）、稳定性（Stability）、重复性（Repeatability）、再现性（Reproducibility）指标进行分析与评价。

5.2.10 闭环控制系统扩展功能

系统应具有闭环控制系统扩展接口，通过扩展接口与电解铜箔产线组成闭环控制系统，实现生产线横向厚度/面密度、纵向厚度/面密度的双闭环控制，以确保电解铜箔面密度/厚度的一致性与稳定性，提高产品质量。

5.2.11 MES 系统通信接口扩展功能

系统应具有MES通讯接口扩展功能，通过MES通讯接口可将测量数据传输给用户MES管理系统。

5.2.12 操作权限管理功能

系统应具有操作员、维护员、管理员三级权限设置和管理功能。

5.3 构造要求

厚度/面密度测量系统由X射线探测器、扫描架、扫描运动与控制系统、嵌入式核心控制单元、测量工作站机柜，和测量与分析软件系统等部分组成。

5.3.1 X 射线探测器

X射线探测器由X射线发射源及接收探测头两部分组成。

X射线发射源由X射线管和高压电源组成，具有温度自动保护、测量温度补偿与报警功能，发射源采用模块化设计、免维护设计及规范制手段，具有专用的冷却装置，以保证测量系统的高可靠性。

接收探测头由电离室和电子前置放大器组成，电离室设计应具有大空间、高抗干扰性、高灵敏度等特点，电离室可由新型固态传感器代替。

5.3.2 扫描架

扫描架由支架和驱动电机两大部分构成，支架用于固定X射线探测器，X射线探测器采用扫描方式测量，扫描位置通过驱动电机左右横向移动，达到对电解铜箔的测量扫描。扫描架驱动丝杆（同步带）、导轨应设有 防尘罩及传动防护罩。扫描架根据测量要求可设计为“O型”、“C型”与“双伺服H型”扫描架。

O型扫描架采用高刚性、微变型材料，由上下两根高刚性导轨支撑横梁和两侧厚板立柱组成，能保证机架上下探头对位精度、动态刚性和长期稳定性。

C型扫描架采用天然大理石C型扫描架和大理石运动平台，通过C型扫描架减小测量过程中的振动，提高测量精度。

5.3.3 扫描运动与控制系统

扫描运动与控制系统由高精度同步带直线运动模组、电机与控制器、减速机，以及传动轴、同步轮等运动部件组成。直线运动模组包含直线导轨、同步带、同步轮、轴承等组件；电机与控制器采用CANopen总线伺服电机和伺服控制器，内置高精度编码器。伺服电机应具有过载保护功能。

测量运动与传动系统采用一体式同步传动技术，确保上下探头扫描运动的超高同步性。

5.3.4 嵌入式核心控制单元

嵌入式核心控制单元采用嵌入式微电子技术，用于厚度/面密度测量系统的信号采集与数据处理，并执行系统指定的独立控制功能，以完成监测、控制等自动化处理任务。

5.3.5 测量工作站机柜

测量工作站机柜由电气控制系统、CAN总线通讯传输系统、数据采集系统、工控主机、大屏显示器，以及开关电源、继电器、光电开关等电气元器件组成。

工控主机配置采用AMD A12或以上版本，主频3.0MHZ以上，内存采用16GDDR4或以上版本，硬盘采用可储存不低于6个月的卷报数据及相应的统计和报告的存储量进行配置。

数据通信采用CAN总线、EtherCAT等方式传输，确保高速响应及测量数据与位置信息的高同步性。

5.3.6 测量软件系统

测量软件系统由测量软件、MSA分析软件、SPC数据分析软件和数据库等部分组成，能实现在线测量、多种实时线图显示、多重超限报警、数据存储/查询/追溯、曲线复显，以及MSA分析、SPC分析、自动卷报和远程监控等功能。

5.4 参数与性能指标要求

厚度/面密度测量系统参数与性能指标应符合表1的要求。

表1 系统参数与性能指标

项 目	技术性能指标	检测方法
测量方式	扫描测量、定点测量、循环定点测量	6.4.1
标定模式	自动定时标定、人工标定	6.4.2
扫描速度	0~400 m/sec, 可调节	6.4.3
测量范围	2-1500g/m ² 或 2-1500 μm	6.4.4
扫描方向采样距离	≤1mm	6.4.5
测量采样频率	≥10kHz	6.4.6
重复精度 (2σ)	±0.06g/m ² 或 ±0.06 μm 或 0.06%。	6.4.7
扫描架	水平度偏差 ≤ 0.04mm/m	6.4.8
	寻边（基材边和涂膜边缘线）精度 ≤ 1mm	
X射线探测器	可靠接地装置，接地电阻 ≤ 4Ω。	6.4.9
	X-ray 发射源应具有可靠的安全措施与报警指示功能，与停机关闭功能。	
	能利用PID 温度控制闭环自动在线监控X-ray 发射源内的温度，并在界面上实时显示温度变化情况。	
	能利用 PID 温度控制闭环自动在线监控接收探测头内的温度，并在界面上实时显示温度变化情况。	
	X 射线静态扫描重复性的标准差 < 0.008	
	X 射线发射源及接收探测头的左右对齐在 1mm 以内，前后对齐在 1mm 以内。	
探测距离（X 射线发射源及接收探测头间距）≤20mm 。		

通信接口	以太网、RS485, 预留 MES 通讯接口	6.4.10
辐射防护等级	符合 GB 18871 要求。	6.4.11
管路系统气密性, MPa	≤ -0.05	6.4.12
平均无故障连续运行时间 (MTBF)	≥ 1440	6.4.13
绝缘阻抗, M Ω	> 20	6.4.14

5.5 电气装配要求

5.5.1 厚度/面密度测量系统的电气连接导线, 最小截面积不小于 0.3mm^2 。CAN 总线、RS485 通讯总线、以太网通讯总线等应采用屏蔽线。

5.5.2 系统的各部件, 电气连接线、电缆及接地点应有整齐、清晰、美观的永久性标志及标记, 并符合 GB 50093、GB 50168 的相关规定。

5.6 安全性能

5.6.1 绝缘电阻

厚度/面密度测量系统机柜内仪表机壳相互间的绝缘电阻应大于 $2\text{M}\Omega$ 。

5.6.2 保护与接地

a) 厚度/面密度测量系统控制现场监控装置的电源输入端必须具有短路保护器件。

b) 厚度/面密度测量系统控制现场监控装置的金属构件(机壳)上, 必须有接地点, 与接地点连接的导线必须是黄、绿双色导线, 接地点附近应有明显的接地标志符号。

c) 接地螺钉应专用于连接保护接地线, 保护接地端子与机壳之间的接触电阻应小于 0.1Ω 。

5.7 电磁兼容性

5.7.1 静电放电抗扰度

按 GB/T 17626.2-2018 中第 5 章规定进行, 试验时功能或性能有可能暂时降低或丧失, 但应能自动恢复。

5.7.2 射频电磁场辐射抗扰度

按 GB/T 17626.3-2016 中规定进行, 试验等级为 2 级。试验时, 在规定极限内能正常工作。

5.7.3 电快速瞬变脉冲群抗扰度

按 GB/T 17626.4-2018 中规定进行, 试验等级为 2 级。试验时功能或性能有可能暂时降低或丧失, 但应能自动恢复。

6 试验方法

6.1 通用技术要求检验

6.1.1 检测条件

- a) 环境温度应在 $-10^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$ 之间，检测时的温度变化在 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 以内。
- b) 检测时的相对湿度应在 70%RH 以下。
- c) 工作电源：交流 $220\text{V}\pm 22\text{V}$ ，50Hz，频率为 $50\text{Hz}\pm 1\text{Hz}$ ，且有良好接地装置。
- d) 大气压应在 86 kPa~106 kPa 之间，检测时的变化幅度在 $\pm 5\%$ 以内。
- e) 检测准备：设备远离强电场或强电磁干扰源、震动源，在接通电源后，按 X 射线在线厚度/面密度测量系统操作规定的时间预热，以使各部分功能及显示单元稳定。

6.1.2 外观要求

外观检查，用眼睛直观检查厚度/面密度测量系统设备的外观、结构、外壳防护等级、表面涂覆、电气装配、防触电保护及标志、标记等，并查看各性能要求、构造要求、外观要求是否符合 5.1.2 所规定的要求。

6.2 总体性能要求试验

6.2.1 实时在线测量功能检验

在厚度/面密度测量系统的软件操作界面上，对照产品技术指标与产品使用说明书进行实地操作，查看测量系统是否具有扫描测量、定点测量、循环定点测量多种实时在线测量功能。验证定点测量与扫描测量之间的切换操作，对定点测量位置和测量周期的参数进行相关设定，运行设备并观察测量系统是否满足实时在线测量功能。

6.2.2 实时线图呈现功能检验

在厚度/面密度测量系统的软件操作界面上进行实地操作，查看系统是否具有单次扫描横向面密度剖面图、单次扫描横向分区直方图、横向面密度剖面分区多次叠加图、横向面密度剖面分区趋势线/平均线、整卷纵向面密度趋势线与平均线、多次测量曲线等线图实时显示功能，并查看测量系统扫描的重复性显示情况。

6.2.3 智能标定功能检验

结合厚度/面密度测量系统的构造与操作界面，按照产品技术指标与产品使用说明书操作要求，进行测量系统的智能标定操作，并对智能标定的配置进行存储与载入调用操作。

6.2.4 自校准补偿功能检验

将厚度/面密度测量系统处于空载运行状态下，进行全轨道偏差矫正和自校准补偿功能的测试运行试验。工作 1 小时后，对厚度/面密度测量系统进行全轨道偏差矫正和自校准补偿功能操作，并对偏差矫正和自校准补偿前后的效果进行对比分析。

6.2.5 参数添加与编辑功能检验

在厚度/面密度测量系统的软件操作界面上，对照产品技术指标与产品使用说明书操作要求，进行设备、人员、来料、产品、工艺等与生产信息相关的参数添加、编辑操作，并在数据文件和品质报告中对添加的参数进行查询与修改等操作。

6.2.6 品质过程控制检验

在厚度/面密度测量系统的软件操作界面上，查看系统是否具有厚度/面密度目标线、规格上下限、品质控制上下限等五线品质控制功能，并查看系统是否具有多重预警、报警设置功能。

6.2.7 数据存储与查询功能检验

在厚度/面密度测量系统的软件操作界面上，按照产品技术指标与产品使用说明书相关功能要求，进行测量数据 excel 格式存储与导出操作，并对测量数据进行查询与追溯操作。

6.2.8 数据分析与质量管理功能检验

在厚度/面密度测量系统的软件操作界面上，查看系统是否具有 SPC 统计过程控制数据自动分析功能，并查看 SPC 品质卷报的生成情况。同时对 SPC 的相关功能进行操作，并观察系统是否具有生产过程参数控制、品质一致性评定、异常趋势预警等功能。

6.2.9 MSA 测量系统分析功能检验

在厚度/面密度测量系统的软件操作界面上，对测量系统的 MSA 分析软件进行实地操作，观察系统利用分辨率 RE%、能力指标 Cg、Cgk、重复性和再现性 GR&R、可区分类别数 NDC 等参数，对厚度/面密度测量系统的偏倚 (Bias)、线性 (Linearity)、稳定性 (Stability)、重复性 (Repeatability)、再现性 (Reproducibility) 指标进行分析与评价的结果。

对厚度/面密度测量系统的 MSA 评估方法参见“**附录 A: MSA 测量系统分析与 MSA 评估指标**”。

6.2.10 闭环控制系统扩展功能检验

对照产品技术指标与产品使用说明书相关功能要求，查看测量系统的构造是否具有闭环控制系统扩展接口功能。

6.2.11 MES 系统通信接口扩展功能检验

对照产品技术指标与产品使用说明书相关功能要求，查看测量系统的构造是否具有 MES 系统通信接口扩展接口功能。

6.2.12 操作权限管理功能

在厚度/面密度测量系统的软件操作界面上，进行操作员、维护员、管理员三级权限设置和管理的实地操作，查看测量系统是否满足用户操作权限管理的要求。

6.3 构造要求检验

对照系统技术与使用说明书，查看厚度/面密度测量系统的构造要求是否符合 5.3.1~5.3.6 所规定的要求。

6.4 参数与性能指标要求检验

6.4.1 测量方式检验

在厚度/面密度测量系统的软件操作界面上，查看系统是否具有扫描测量、定点测量、循环定点测量多种实时在线测量功能，并逐个进行扫描测量、定点测量、循环定点连续测量检测。

6.4.2 标定模式

在厚度/面密度测量系统的软件操作界面上，查看是否具有自动定时标定、人工标定2种工作模式，并进行自动定时标定、人工标定下的测量试验操作。

6.4.3 扫描速度

在厚度/面密度测量系统的软件操作界面上，设置最大扫描速度（ $\leq 400\text{m/min}$ ），并进行多次扫描测量，记录下每次的扫描距离 l_1 、 l_2 、...、 l_n 与扫描周期 t_1 、 t_2 、...、 t_n 。计算出多次扫描测量的平均扫描速度（ \bar{v} ）。

$$\bar{l} = (l_1 + l_2 + \dots + l_n) / n \dots\dots\dots (1)$$

式中： \bar{l} 为n次扫描距离的平均值， l_1 、 l_2 、...、 l_n 为n次测量的扫描距离。

$$\bar{t} = (t_1 + t_2 + \dots + t_n) / n \dots\dots\dots (2)$$

式中： \bar{t} 为n次扫描周期的平均值， t_1 、 t_2 、...、 t_n 为n次的扫描周期。

$$\bar{v} = \bar{l} / \bar{t} \dots\dots\dots (3)$$

式中： \bar{v} 为n次扫描测量的平均扫描速度。

比较 \bar{v} 与设置的最大扫描速度（ $\leq 400\text{mm/sec}$ ），查看相对误差是否在 $\pm 5\%$ 以内。

同样，在厚度/面密度测量系统的软件操作界面上，设置最小扫描速度（ $0 < \bar{v} < 400\text{mm/sec}$ ），进行上述操作，查看设置的最小扫描速度与此时的平均扫描速度相对误差是否在 $\pm 5\%$ 以内。

6.4.4 测量范围

采用不同厚度/面密度的电解铜箔进行测量，查看厚度/面密度测量系统是否满足不同种类电解铜箔的测量范围要求。

6.4.5 扫描方向采样距离

在厚度/面密度测量系统的软件操作界面上，将测量方式设置为扫描测量，启动后对扫描原始数据量、扫描距离进行统计，然后计算出扫描方向采样距离，扫描方向采样距离应 $\leq 1\text{mm}$ 。

6.4.6 测量采样频率

在厚度/面密度测量系统的软件操作界面上，将测量方式设置为扫描测量，启动后对扫描原始数据量进行统计，实地操作并统计查看厚度/面密度测量的原始记录csv数据，然后计算出测量采样频率，查看测量采样频率是否 $\geq 10\text{KHZ}$ 。

6.4.7 重复精度

在厚度/面密度测量系统的软件操作界面上，将测量方式设置为定点测量，在定点测量下进行测量对比，查看重复精度是否在给定的范围之内。

6.4.8 扫描架

- a) 用水平仪进行测量，查看水平度偏差是否 $\leq 0.04\text{mm/m}$ 。
- b) 实地操作对比检查，对比寻边位置与实际位置，查看寻边精度是否 $\leq 1\text{mm}$ 。

6.4.9 X射线探测器

- a) 采用接地电阻测试仪对 X 射线探测器的接地电阻进行测试，接地电阻应 $\leq 4\Omega$ ；
- b) X-ray 发射源应具有可靠的安全措施、报警指示与停机关闭功能。对照安全指标检查 X-ray 发射源是否具有可靠的安全措施与报警指示功能，并在测量系统的软件操作界面上检测 X-ray 发射源的停机关闭功能。
- c) 查看 X-ray 发射源是否具有 PID 温度闭环控制功能，并在软件操作界面上查看 X-ray 发射源内部温度的监控状况，观察温度的显示与实时变化情况。
- d) 查看 X 射线接收探测头是否具有 PID 温度闭环控制功能，并在软件操作界面上查看接收探测头内部的温度的监控状况，观察温度的显示与实时变化情况。
- e) 启动厚度/面密度测量系统并在空载状态下运行，1 小时后，在测量系统软件的操作界面上查看 X 射线静态扫描重复性的标准差是否 < 0.008 。
- f) 用量具测量 X 射线发射源与接收探测头发射窗口的左右对齐是否在 1mm 以内，前后对齐是否在 1mm 以内。
- g) 用量具测量探测距离（X 射线发射源及接收探测头间距）是否 $\leq 20\text{mm}$ 。

6.4.10 通信接口

查看 X 射线厚度/面密度测量系统的通讯接口，是否具有以太网、RS485，预留 MES 等通讯接口。

6.4.11 辐射防护等级

开启 X 射线探测器，利用辐射测量仪对 X 射线探测器的辐射量进行检测，检测结果应符合国家规定的辐射管理《GB 18871-2002 电离辐射防护与辐射源安全基本标准》要求。

6.4.12 管路系统气密性

在 X 射线厚度/面密度测量系统的进气口后接一个量程为 $(0\sim-0.1)\text{MPa}$ 的负压表，启动测量系统，在正常工作状态下，堵塞出气口，读取压力表读数，观察管路系统气密性是否 $\leq -0.05\text{MPa}$ 。

6.4.13 平均无故障连续运行时间 (MTBF)

将 X 射线厚度/面密度测量系统设置为扫描测量模式，启动测量系统后，连续运行 2 个月，记录总运行时间 (h) 和故障次数 (次)，计算平均无故障连续运行时间 (MTBF)。

6.4.14 绝缘阻抗

正常环境下，在关闭 X 射线厚度/面密度测量系统电路状态时，采用计量检定合格的阻抗计（直流 500 V 绝缘阻抗计）测量电源相与机壳（接地端）之间的绝缘阻抗。测量的绝缘阻抗应 $> 20\text{M}\Omega$ 。

6.5 电气装配要求检验

按《GB 50093-2013 自动化仪表工程施工及质量验收规范》、《GB 50168-2018电气装置安装工程电缆线路施工及验收标准》的相关规定进行检验。

6.6 安全性能试验

6.6.1 绝缘电阻试验

用接地电阻测试仪进行测试，按表2的规定进行选择。

表2 绝缘电阻试验

回路工作电压 (V)	兆欧表的额定电压 (V)
≤ 48	250
> 48~500	500
> 500	1000

6.6.2 保护接地试验

保护接地端子与机壳之间的接触电阻的测量方法，是将可变电阻器、电流表及电控设备的接地端子串联连接，在可变电阻器另一端及机壳裸露的金属导体之间施加交流50Hz隔离电源供电，电压不超过25V，电流至少10A，时间不大于10s。测量接地端子与机壳裸露的各金属导体之间的电压降，由电流与该电压降计算出电阻值。

6.7 电磁兼容性试验

6.7.1 静电放电抗扰度试验

按 GB/T 17626.2-2018 中第 5 章规定进行。性能判据：试验时功能或性能有可能暂时降低或丧失，但能自动恢复。

6.7.2 射频电磁场辐射抗扰度试验

按 GB/T 17626.3-2016 中第 5 章规定进行，试验等级为 2 级。性能判据：试验时，在规定极限内能正常工作。

6.7.3 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验

按 GB/T 17626.4-2018 中规定进行，试验等级为 2 级。性能判据：试验时功能或性能有可能暂时降低或丧失，但能自动恢复。

7 检验规则

7.1 检验分类

检验分出厂检验和型式检验。

7.2 出厂检验

- 7.2.1 出厂检验由制造厂检验部门进行。
- 7.2.2 出厂检验项目见表 3。
- 7.2.3 出厂检验逐台进行。
- 7.2.4 出厂检验一项指标不合格则判定产品不合格。

表 3 检验方法

序号	试验项目	要求	试验方法	检验分类	
				出厂检验	型式检验
1	外观要求	5.1.2	6.1.2	√ ^a	√ ^a
2	总体性能要求	5.2	6.2	√ ^a	√ ^a
3	构造要求	5.3	6.3	— ^b	√ ^a
4	参数与性能指标要求	5.4	6.4	√ ^a	√ ^a
5	电气装配要求	5.4	6.4	√ ^a	√ ^a
6	绝缘电阻试验	5.6.1	6.6.1	√ ^a	√ ^a
7	接地电阻试验	5.6.2	6.6.2	√ ^a	√ ^a
8	电磁兼容性试验	5.7	6.7	— ^b	√ ^a

注：“a”表示必须检验的项目，“b”表示不需检验的项目

7.3 型式检验

7.3.1 在下列情况下应进行型式检验：

- a) X 射线在线厚度/面密度测量系统新产品试制定型时；
- b) 在系统已定型后，当设计、工艺或关键材料更改有可能影响产品质量时；
- c) 停产一年以上恢复生产时；
- d) 国家质量监督管理部门提出要求时。

7.3.2 型式检验项目见表 3。

7.3.3 型式检验样品从制造厂成品库中抽取。

型式检验应在一台设备样品上或在按相同（或类似）设计并制造的多台设备上进行。若有系列产品，可选取若干种典型品种、规格进行型式检验。

型式检验过程中，若发生某些项目试验不合格，应查明原因，返修复试，若仍不合格，则判该批产品型式检验不合格。型式检验项目为本标准全部技术要求。

8 标志、包装、运输、贮存

8.1 标志

每台套整机结构的X射线在线厚度/面密度测量系统应有一个铭牌。铭牌上应标明下列内容：

- e) 产品名称；
- f) 产品型号；
- g) 执行标准；
- h) 出厂年月、编号；
- i) 制造厂名、厂址；
- j) 必要的其它技术数据。

8.2 包装

厚度/面密度测量系统包装应符合GB/T 191、GB/T 5048等规定的技术标准要求。

8.3 运输

适用于公路、铁路、船运等运输，不得与有毒、有害、有腐蚀性物质混装。

8.4 贮存

贮存的环境温度不大于 $-5^{\circ}\text{C}\sim+40^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度不大于70%。贮存在专用的库房里。

附录 A (规范性附录)

MSA 测量系统分析与 MSA 评估指标

A.1 适用范围

为了对所使用的厚度/面密度测量系统做一个科学、系统的分析和评定，保证厚度/面密度测量系统测量出的结果真实、有效，在下列情况下，需要对电解铜箔X射线在线厚度/面密度测量系统进行MSA测量系统分析。

- a) 引进新的在线厚度/面密度测量系统时 (EV)；
- b) 新生产的电解铜箔产品存在较大的产品变差 (PV)；
- c) 厚度/面密度测量系统测量操作更换新的人员时 (AV)。

A.2 MSA (测量系统分析)

MSA是测量系统分析 (Measurement Systems Analysis) 的第一个字母的缩写，就是对测量系统进行分析的方法。其通过统计分析的手段，对构成测量系统的各个影响因子进行统计变差分析和研究，以得到测量系统是否准确可靠的结论。

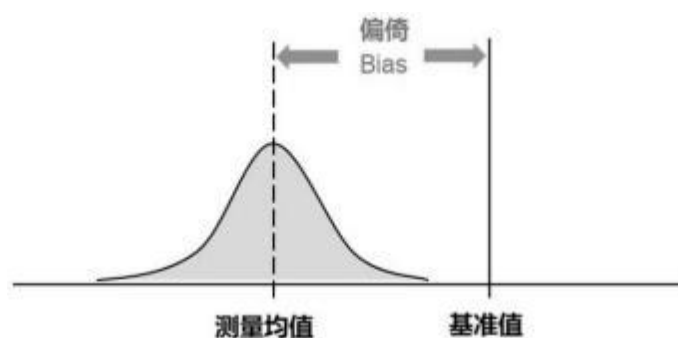
A.3 MSA的评定指标

MSA 的评定指标通常用偏倚 (Bias)、线性 (Linearity)、稳定性 (Stability)、重复性 (Repeatability)、再现性 (Reproducibility) 这5个指标来评价测量系统的统计特性。

通常前3种指标用于评价测量系统的准确性，后2种指标用于评价测量系统的精确性。测量系统的准确性可以通过对设备的校准等对测量系统进行维护、监控，也就是说，通过对测量系统的分辨率、偏倚、线性和稳定性进行分析与校准可以解决其准确性问题。工程上通常用测量系统的精确性也就是其重复性和再现性来研究其统计特性，就是通常所说的“GR&R研究”。

A.3.1 偏倚 (Bias)

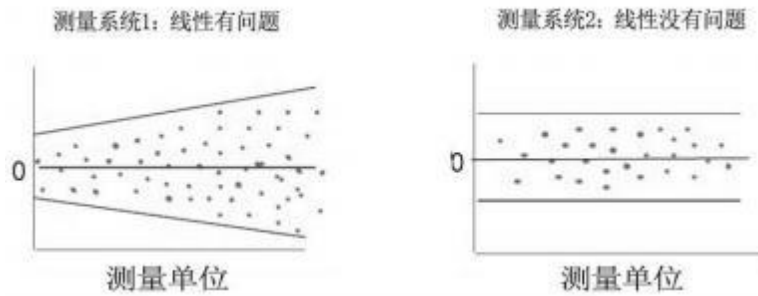
偏倚是指测量值与实际值的比较，即测量观察平均值与该零部件采用精密仪器测量的标准平均值的差值，通常又被称为“准确度”。



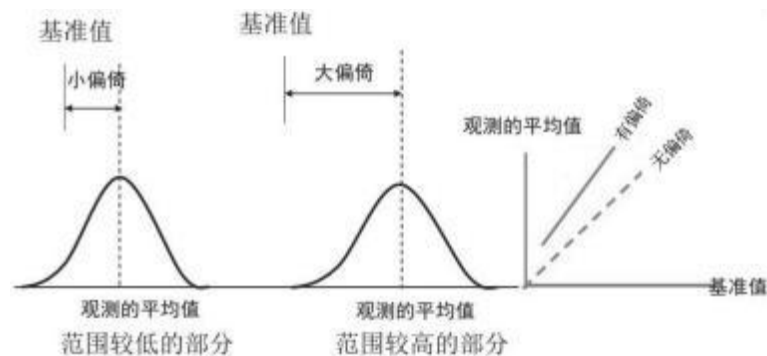
如图所示，“测量均值”的获取是在多次重复测量的基础上得出来的算数平均值。同理，基准值获取也是重复测量下求算数平均值而得到的，两者相减就是偏倚数值。基准值可以是理论值，也可以是用更精密的测量仪器多次测量后得到的算数平均值。

A.3.2 线性 (Linearity)

线性是指测量系统在预期的工作范围内偏倚的变化规律，也表征测量系统预期工作范围内偏倚值的差值。



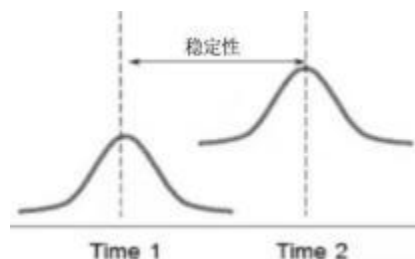
如图所示，在全部测量范围内，测量值和基准值的差异保持稳定，说明其线性好。左图中随着测量范围的增加，偏倚值在“偏倚=0”线的上下呈发散状态，超出了置信度区间，因此测量系统1的线性存在问题；右图中随着测量范围的增加，偏倚值在“偏倚=0”线的上下置信度区间波动，因此测量系统2的线性是没有问题的。



如图所示，给出了测量系统在预期工作范围内的偏倚值与线性的关系图。通过偏倚值大小进行测量系统的线性评定。

A.3.3 稳定性 (Stability)

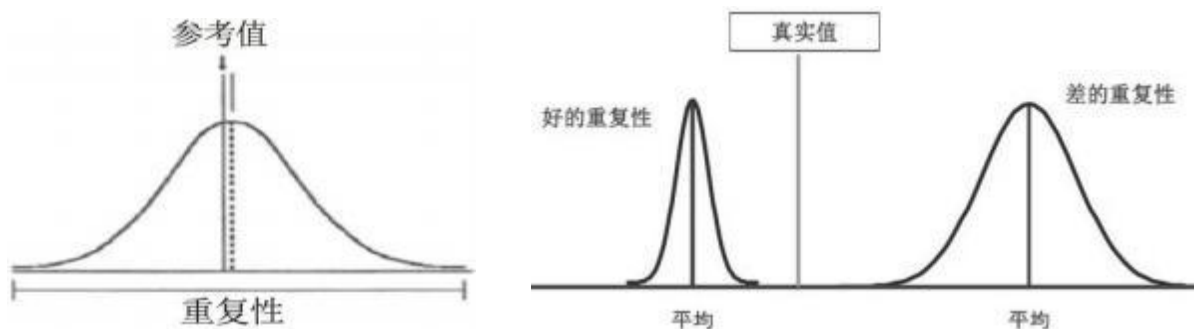
稳定性是随时间变化的偏倚值，也指测量系统在某持续时间内测量同一样本或产品的单一特性时获得的测量值总变差。稳定性表征测量系统保持变差随时间恒定的能力。



图中，总变差在允许范围内时，说明测量系统是稳定的。如果测量系统根据时间的推移测量结果互不相同，总变差超出允许范围内时，说明该测量系统缺乏稳定性。定期进行稳定性确认对于测量系统也是极为重要的一环。

A.3.4 重复性 (Repeatability)

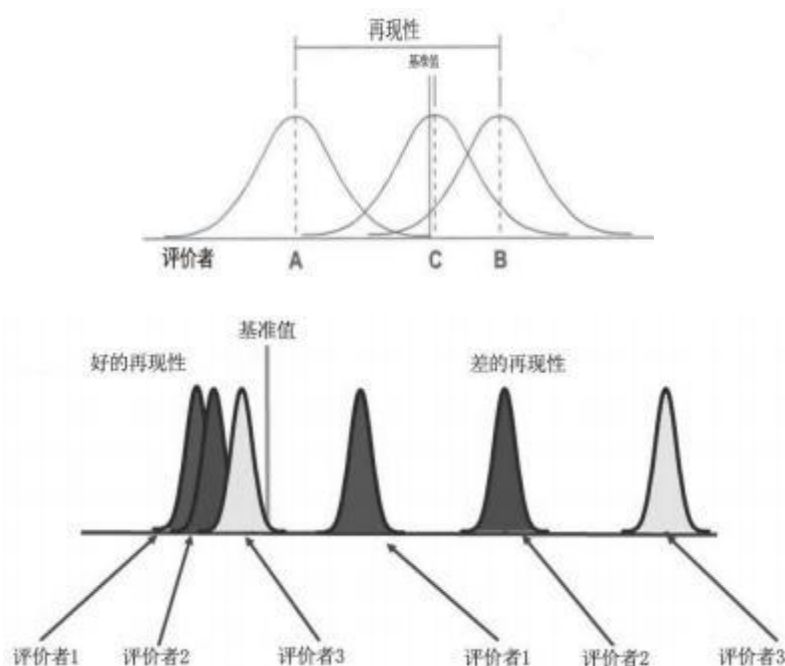
重复性是指在相同测量程序、相同操作者、相同测量系统、相同操作条件下，对同一或相类似被测对象多次测量同一特性时获得的测量值(数据)的变差，它是设备本身的固有变差或能力，通常重复性也称为仪器误差 (Equipment Variation, EV)。



测量系统在完全相同的条件下，重复工作，每次结果(数据)都不一样，构成重复性误差。测量系统越精密，这个误差越小，但永远不可能是零。如果有特殊原因(测量系统失常)发生，误差立即变大，因此需要对重复性误差进行控制，只允许有普通原因存在，如发现特殊原因，应采取措施予以排除。

A.3.5 再现性 (Reproducibility)

由不同的人使用同一测量系统，对同一被测特性进行多次重复测量所得结果的变差，反映了在规定条件下，对同一或类似被测对象重复测量所得示值或测得值间的一致程度。通常再现性也称为操作员误差 (Appraiser Variation, AV)。



授权的测量系统操作者（又称评价人），不同的评价人之间差异构成再现性，只有当测量系统高度自动化，操作仅需按一下开头就能测量，这项变差为零。通常情况，由不同的评价人采用相同的测量系统，对同一被测特性进行测量时都会存在变差。

A.4 MSA的步骤

测量系统分析（MSA）的评定通常分为两个阶段。

A.4.1 第一阶段

验证测量系统是否满足其设计规范要求：

- a) 确定测量系统是否具有所需要的统计特性，此项必须在测量系统使用前进行。
- b) 发现哪种环境因素对测量系统有显著的影响，例如温度、湿度等，以决定其使用的空间及环境。

A.4.2 第二阶段

- a) 验证一个测量系统，一旦被认为是可行的，应持续具有恰当的统计特性。
- b) 应用分辨率 RE%、能力指标 Cg、Cgk、重复性和再现性 GR&R 等指标进行 MSA 指标评定。

A.5 MSA的评估参数

利用分辨率RE%、能力指标Cg、Cgk、重复性和再现性GR&R、可区分类别数NDC等参数对厚度/面密度测量系统的偏倚（Bias）、线性（Linearity）、稳定性（Stability）、重复性（Repeatability）、再现性（Reproducibility）指标进行分析与评价。

A.5.1 分辨率RE%

RE% 为测量系统分辨率,通常定义为测量系统能够读取的最小测量单位。测量系统的有效分辨率要求不低于过程变差或允许偏差（tolerance）的十分之一，分辨率不足的表现应能在过程变差的SPC极差图上可看出。

RE% 的计算公式如下：

$$RE\% = \frac{\text{测量系统的最小刻度}}{\text{公差}} \dots\dots\dots (1)$$

式中：测量系统的最小刻度指测量系统的分度值，刻度越小，系统分辨率越高。公差指测量系统容许误差的最大值与最小值之差。

测量系统的分辨率 RE% 根据企业内控要求确定，分辨率 RE%评估标准通常为：

- a) 企业内控为 $RE\% \leq 5\%$ 。
- b) $5\% < RE\% < 10\%$ ：测量系统为低分辨率；
- c) $RE\% > 10\%$ ：测量系统分辨率则不能满足要求。

A. 5. 2 能力指标Cg、 Cgk

A. 5. 2. 1 能力指标 Cg

Cg为测量系统的重复精度能力系数， 主要是评估测量系统自身的重复性， 重复性是测量系统对同一被测特性进行一致性测量的能力。

Cg 公式如下：

$$Cg = \frac{K/100 * T}{L * S} \dots\dots\dots (2)$$

式中： K为公差百分比， 一般默认为20， T为公差带， s为测量值标准差， L为整个过程散布相当于其标准差的倍数， 一般默认为6。根据企业的标准不同， 分母有取6s的情况， 也有取4s的情况， 以6s的情况应用较为普遍。

Cg 值大于 1. 33 ， 说明相对于公差范围而言， 该测量系统测量值的散布范围非常窄。行业内一般有2种标准， Cg ≥ 1. 33 或者 Cg ≥ 1， 具体要依据每个企业的各自标准要求而定。

A. 5. 2. 2 能力指标 Cgk

Cgk是测量系统准确精确能力系数， 用于评价一个测量设备的测量能力是否和被测产品的公差要求相匹配的方法。主要是用来评测量系统自身的偏移， 还评估测量系统的偏倚， 即测量系统平均测量值与参考值之间的差异。

Cgk 公式如下：

$$Cgk = \frac{K / 200 * T}{L * S} \left| \frac{Xg - Xm}{T} \right| \dots\dots\dots (3)$$

式中： K为公差百分比， 一般默认为20， T为公差带， s为测量值标准差， L为过程散布的一半相当于其标准差的倍数， 一般默认为3。此外， 根据企业的标准不同， 分母有取6s的情况， 也有取4s的情况， 以6s的情况应用较为普遍。Xg-Bar为所有测量值的均值， Xm为重复测量值的名义值， 其一般由高一级测量精度的设备来进行校准鉴定测量。

Cgk 的评估标准为：

- a) Cgk > 1. 33， 表示测量系统能力足够；
- b) 1 ≤ Cgk < 1. 33， 能力一般（合理原因可接受）；
- c) Cgk < 1 ， 能力不足够。

A. 5. 3 重复性和再现性GR&R

GR&R 是 Gauge Repeatability &Reproducibility 的缩写， 代表的是测量系统重复性和再现性， 是测量系统的双星误差， 是MSA的一种常用方法， 用于验证测量系统是否可靠、 好用。

GR&R 公式如下：

$$GR \& R = \sqrt{EV^2 + AV^2} \dots\dots\dots (4)$$

式中：EV 为仪器误差，AV 为操作员误差。

GR&R的评判标准：

- a) 如果 GR&R 小于被测特性公差的 10%，测量系统无问题；
- b) 如果 GR&R 大于被测特性公差的 10%而小于 20%，测量系统是可以接受的；
- c) 如果 GR&R 大于被测特性公差的 20%而小于 30%，则接受的依据是数据测量系统的重要程度和改善所花费的商业成本；
- d) 如果 GR&R 大于被测特性公差的 30%，测量系统不能接受， 需要进行改善。

A. 5. 4 可区分类别数NDC

NDC是可区分类别数（Number of Distinct Categories）的缩写，是指测量得到数据分组的数量值大小的代码，分组的数量值就是ndc值。NDC 是 MSA 中用于确定测量系统敏感度的标准之一，NDC可以理解为测量系统的“分辨力”，NDC与测量仪器的分辨率（RE%）存在递进关系。

NDC计算公式如下：

$$NDC = \frac{\sqrt{2} * PV}{GR \& R} \dots\dots\dots (5)$$

式中：PV是被测量产品（零件）误差，GR&R是测量系统双星误差。NDC计算的结果值表征测量系统的敏感度，数据组越多，测量系统对于产品（零件）的辨识度越高。

NDC 评估准则标准：

- a) $NDC \geq 5$ ，表示测量系统是可接受的；
- b) $NDC < 5$ ，表示测量系统不可接受，需要使用更敏感的测量系统；
- c) $NDC < 2$ ，被认为太低，无法解释，因为没有什么可比较的。