

团 体 标 准

T/CIRA XXXXX—2026

基于 X 射线 CT 成像技术的电芯检测系统技 术要求

Technical requirements for battery cell inspection systems based on X-ray CT
technology

点击此处添加与国际标准一致性程度的标识

（征求意见稿）

2026 年 7 月 23 日

XXXX – XX – XX 发布

XXXX – XX – XX 实施

中国同位素与辐射行业协会 发 布

目 次

目次 I

前言 III

基于 X 射线 CT 成像技术的电芯检测系统技术要求（征求意见稿） 1

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

 3.1 检测节拍 1

 3.2 空间分辨率 1

 3.3 测量正确度 1

 3.4 设备能力指数 2

 3.5 量具重复性与复现性 2

 3.6 系统校准 2

 3.7 日常点检 2

4 系统组成 2

5 技术要求 3

 5.1 性能指标 3

 5.2 系统安全 3

 5.3 环境适应性要求 5

 5.4 电磁兼容 5

 5.5 系统功能 5

6 试验方法 6

 6.1 性能试验 6

 6.2 系统安全试验 7

 6.3 环境适应性试验 8

 6.4 电磁兼容性试验 8

 6.5 功能检查 9

7 检验规则 9

 7.1 检验分类 9

 7.2 检验项目 9

 7.3 型式检验 9

 7.4 出厂检验 9

8 标志、包装、运输和贮存 10

 8.1 随机文件 10

 8.2 产品标识 10

 8.3 包装 10

 8.4 运输和贮存 10

附 录 A （规范性附录） 标准测试件 11

附 录 B （资料性附录） 基于 X 射线 CT 成像技术的电芯检测系统验收报告..... 12

前 言

本文件按照GB/T 1.1-2020给出的规则起草。

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。

本文件由中国同位素与辐射行业协会提出并归口。

本文件起草单位：。

本文件主要起草人：。

基于 X 射线 CT 成像技术的电芯检测系统技术要求

1 范围

本文件规定了基于X射线CT成像技术的电芯检测系统（以下简称“检测系统”）的技术要求，规范了试验方法。

本文件适用于基于X射线CT成像技术的锂电池检测系统。

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 2423.1 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验A：低温
- GB/T 2423.2 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验B：高温
- GB/T 2423.3 环境试验 第2部分：试验方法 试验Cab：恒定湿热试验
- GB 4793.1-2007 测量、控制和实验室用电气设备的安全要求 第1部分：通用要求
- GB/T 13384 机电产品包装通用技术条件
- GB/T 15706 机械安全 设计通则 风险评估与风险减小
- GB/T 17799.2-2023 电磁兼容 通用标准 第2部分：工业环境中的抗扰度标准
- GB 17799.4-2022 电磁兼容 通用标准 第4部分：工业环境中的发射
- GB/T 29069-2012 无损检测 工业计算机层析成像(CT)系统性能测试方法
- GB/T 37128-2018 X射线计算机断层成像安全检查系统技术要求

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

检测节拍 inspection cycle time

多个样品连续检测时的检测效率，通常以单位时间可检测样品数量多少表示，如件每分钟（PPM）。

3.2

空间分辨率 spatial resolution

检测系统鉴别和区分高对比度微小细节特征的能力。

[GB/T 37128-2018 3.4，有修改]

3.3

测量正确度 measurement trueness

系统多次测量平均值与参考值间的一致程度。

3.4

设备能力指数 Capability Gage Index, 即Cgk

对设备测量精确度进行测试, 确保设备的测量结果能够满足产品公差要求的精确度。

3.5

量具重复性与复现性 Gauge repeatability and reproducibility, 即GRR

对量具重复性和复现性的综合评估方法, 通常采用%GRR和%PT作为评估指标。%GRR是基于过程总变异的重复和再现性的比率, 简称为“过程比”, 是测量系统变差占过程变差的百分比。%PT是基于公差的重复性和再现性的比率, 简称为“公差比”, 是测量系统变差占公差的百分比。

3.6

系统校准 system calibration

对检测系统射线源强度、探测器响应以及系统几何参数等进行校准。

3.7

日常点检 daily check

对检测测量准确度等性能指标进行测试与校验, 用于确认系统状态是否正常。

4 系统组成

基于X射线CT成像技术的电芯检测系统以X射线CT成像技术为基础, 通过对待检测电芯多角度透射成像和数据重建分析, 获取电芯内部三维结构信息, 实现对极片包覆值等关键结构自动识别分析, 最终根据工艺参数要求给出待检测样品是否合格的结论。

基于X射线CT成像技术的电芯检测系统组成如图1所示, 其中机械分系统包含系统主体机架、输送线体、电芯托盘夹具、以及辐射屏蔽; 电控分系统包括系统供电、检测流程自动控制以及安全联锁等; 软件分系统主要集成硬件状态监控、扫描数据采集和处理以及检测结果导出等功能; 算法分系统包括系统校准算法、CT数据重建以及极片包覆值自动识别分析等功能。

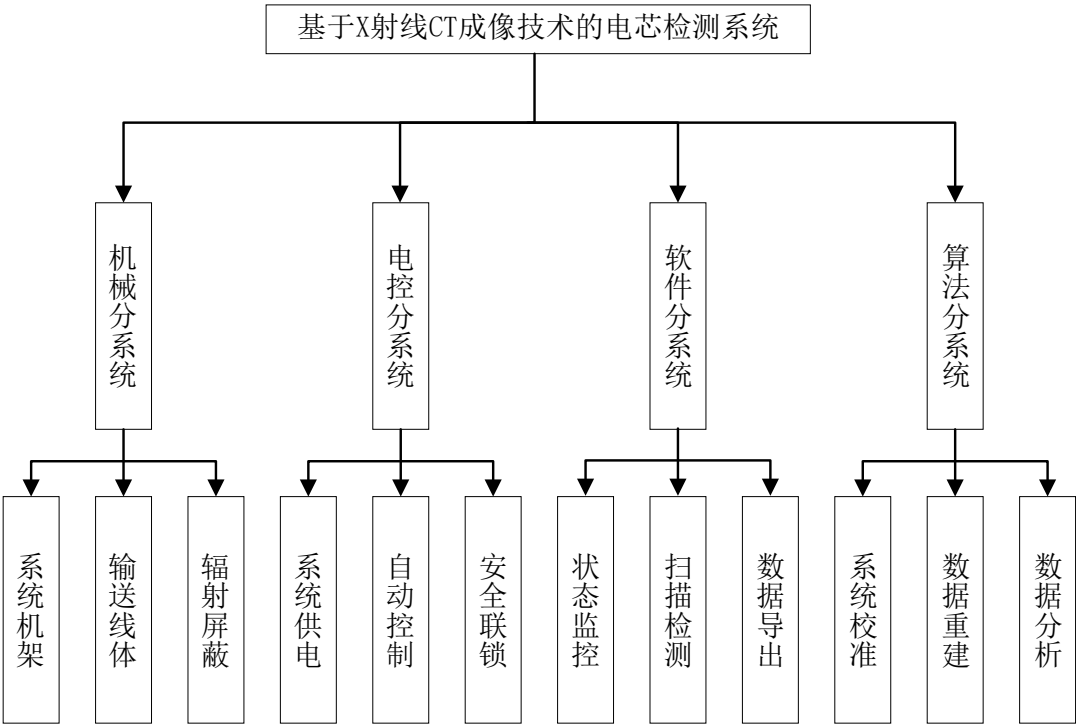


图1 基于X射线CT成像技术的电芯检测系统组成

5 技术要求

5.1 性能指标

5.1.1 空间分辨率

检测系统空间分辨率测量值应大于或等于5.00lp/mm。

5.1.2 测量正确度

检测系统正确度测量值应小于100um。

5.1.3 设备检测能力 Cgk

如果检测系统作为测量工具使用，应先进行Cgk测试，Cgk大于或等于1.33，判定测量系统可接受。

5.1.4 测量系统 GRR 分析

作为测量设备使用时，设备Cgk满足要求后，还应进行GRR分析，%GRR小于或等于30%，%PT小于或等于30%，判定测量系统可接受。

5.1.5 检测节拍

检测系统工作在预定工作模式下，系统配置参数应与系统准确度、重复精度等测试保持一致，并根据实际应用要求，确定单个电芯样件检测位置数量，系统检测节拍应当高于产线节拍或用户要求节拍。

5.2 系统安全

5.2.1 辐射安全

系统的辐射安全设施包含辐射屏蔽结构、安全联锁与警示系统（门联锁装置、紧急停止开关、安全钥匙开关、指示灯等）、现场监视系统等。

系统设有钥匙开关和二次电源开关，钥匙开关“通”、“断”位置标识清晰可辨。

系统应设有明显的通电指示灯和射线发射指示灯。

系统可打开的安全门或活动罩板处应设有安全防护联锁装置。在方便操作人员触及的位置应设有紧急停止开关。当系统安全门、活动罩板打开或紧急停止开关被触发的状态下，X射线源不能发射射线。X射线源发射过程中，如发生安全门、活动罩板打开或紧急停止开关被触发，X射线源发射立即停止。

设备按照最大工作条件（最大工作电压及电流）运行时，距设备外壳5厘米处任何位置的X射线泄漏剂量率小于1 μGy/h。

5.2.2 电气安全

5.2.2.1 保护接地

系统应满足下述保护接地要求：

- a) 系统具有可供连接保护接地导线的保护接地端子，并有明显的标识；
- b) 系统金属表面与接地端子间的电阻小于或等于0.1 Ω。

5.2.2.2 绝缘电阻

系统电源引入端与外壳裸露金属部件之间的绝缘电阻，在正常环境条件下应大于或等于100MΩ，湿热条件下应大于或等于2MΩ。

5.2.2.3 抗电强度

电气间隙和爬电距离的设计应满足GB4793.1中6.7的要求。

系统电源各相线及零线与外壳裸露金属部件之间，应能承受表1规定的45Hz-65Hz交流电压或相当于交流峰值的直流电压历时1分钟的抗电强度试验，试验时应无击穿或飞弧现象。

表 1 抗电强度要求

额定电压/V		试验电压/KV	
直流或正弦交流有效值	交流峰值或合成电压	交流电压	直流电压
130-250	184-354	1.5	2.1
251-500	355-707	2.0	2.8

5.2.2.4 可触及零部件允许电流限值

在系统所有可触及零部件与参考试验地之间，或在同一系统上在1.8m(沿表面或通过空气)的距离内的任意两个可触及零部件之间，允许的电流限值如下：

- a) 正常条件：对正弦波为有效值限值为0.5mA，对非正弦波或混合频率电流为峰值限值为0.7mA或直流值限值为2mA；
- b) 单一故障条件：对正弦波为有效值限值为3.5mA，对非正弦波或混合频率电流为峰值限值为5mA或者直流限值为15mA。

5.2.3 机械安全

5.2.3.1 人员安全

系统的机械安全设计应符合GB/T 15706的有关规定，确保其在正常运行、预期使用及可合理预见误用条件下，均能防止人身伤害。

- a) 设备运动部件（电机、皮带轮、滑轨等传动机构）应设置防护罩，防止人员接触危险运动部件；
- b) 设备外观设计应避免尖角、锐边等可能造成人员割伤的结构特征。所有外露边缘应进行倒角或包覆处理。

系统安全门、活动罩板打开或紧急停止开关被触发时，系统的旋转部件应停止运动。

5.2.3.2 设备安全

- a) 对于存在运动轨迹重合的伺服运动机构，应设置安全区域。
- b) 设备内涉及电池夹持、搬运的运动机构（机械手、夹爪等）应具备断电断气保护功能。

5.3 环境适应性要求

5.3.1 工作温度

在 10℃~40℃范围内，设备应能正常启动，并持续运行不小于24h，性能指标符合产品技术规格要求。

5.3.2 工作湿度

设备在相对湿度（RH）20%~85%、不结露条件下，连续运行不小于24h，性能指标符合产品技术规格要求。湿热条件下，系统绝缘电阻满足5.2.2.2节要求，无漏电、短路现象。

5.4 电磁兼容

5.4.1 抗扰度要求

系统的抗扰度应符合GB/T 17799.2-2023中表1、表2、表4规定限值的要求。

5.4.2 发射要求

系统的发射限值应符合GB 17799.4-2022中表1、表2、表3规定限值的要求。

5.5 系统功能

5.5.1 数据格式

检测数据应以常规数据格式进行本地化存储，如NRRD、DICONDE、BMP、JPEG、PNG等，便于数据查看及回溯。

5.5.2 系统管理

- a) 系统管理应包括用户管理、检测记录管理、检测记录、检测报告、数据交互；

- b) 用户管理

检测系统软件支持通过统一的用户管理，实现用户、角色及权限的管理和维护；

- c) 检测记录管理

检测过程应有详细的检测记录、检测图像数据，并可生成对应的检测报告，满足数据追溯要求；

- d) 检测记录

检测记录通常应包括被检物编号、检测设备、图像描述、检测结果及相关检测数据、检测人、审核人、检测日期等详细记录。部分用于生产质量控制的检测系统还应包括被检物批次号等信息；

e) 检测报告

检测报告应包含检测记录、评判标准、评判结果，可自动或手动生成，并支持导出报告；

f) 数据交互

数据交互检测系统应具备对外提供数据接口访问能力。用于生产质量控制的在线型检测系统，还应具备与生产线进行接口访问的能力。

5.5.3 系统校准

用于系统首次、使用过程中、维修后的系统性能参数校准。

5.5.4 日常点检

系统每日正常使用前，需通过标准检测件对系统测量正确度等指标进行检验，软件反馈性能检测结果，依据结果判定系统是否已具备正常使用条件（参见附录B）。

5.5.5 极片包覆值自动检测

系统应具备极片包覆值自动检测功能，可通过软件设置极片包覆值检测阈值，并根据检测数据自动判定检测结果和显示检测结果数据。

6 试验方法

6.1 性能试验

6.1.1 空间分辨率试验

按照GB/T 29069-2012中5规定的方法进行测试。

6.1.2 测量正确度试验

采用与电芯样件尺寸规格相近的模拟样件（按照附录A），系统参数和扫描模式设置为与电芯实际检测应用一致。对于该标准样件进行扫描检测N次（ $N \geq 25$ ），并每次测量模拟样件特征结构尺寸 y_i ，并将其与参考值x对照，如公式（1）计算系统测量偏差Bias，即以N次测量平均值与参考值之间偏差为系统测量正确度。其中参考值x一般由更高精度测量系统测量获得。

$$Bias = |\frac{1}{N} \sum_i y_i - x| \quad (1)$$

6.1.3 设备检测能力试验

采用真实电芯样件或与电芯样件尺寸规格相近的模拟样件（按照附录A），系统参数和扫描模式设置为与电芯实际检测应用一致。需在相同的测量位置和条件下，对于该模拟样件进行扫描检测N次（ $N \geq 25$ ），测量均值为 $\bar{y}$ ，测量值标准差为 δ ，则可按照公式（2）计算系设备Cgk。

$$Cgk = \frac{0.1T - |\bar{y} - x|}{3\delta}, \text{ 其中 } T \text{ 为产品公差带宽度} \quad (2)$$

6.1.4 量具 GRR 分析试验

一般采用第二类测量系统分析测试分析方法，即对多个电芯样品进行多次扫描测试，以测试评估检测系统测量结果的重复性

a) 选择待测样件：选择3至5个电芯样件，如有可能，这些样件宜代表整个公差带。所有样件都应予以评估员不知道的单一编号来标识。

b) 选择进行测量的评估员：对于自动上下料设备或具有机械自动定位的设备，评估员数量可为1人，其余情况应为2-3人。评估员应是通常进行测量的人员（操作员、质量检查员等）。

c) 进行测量：应采用正常扫描模式检测，极片包覆值自动检测算法提取尺寸测量数值。各评估员应使用同一检测设备对各电芯样件进行多次测量。各电芯样件的测量次数宜为3次。对同一零件进行重复测量时，评估员不知道先前的测量结果。电芯样件应按随机顺序进行测量。评估人数为1人时，各电芯阳间的测量次数宜为9次。

d) 结果评价：测试完成后，选取10个包覆值的多次测量值进行评估，应采用方差分析法进行计算%GRR和%PT数值，计算中使用6个标准偏差。在测试样品无法覆盖产品公差带情况下，以%PT进行GRR性能评估。

6.1.5 检测节拍试验

试验前，应根据实际应用要求，确定每个电芯极片包覆值检测的位置。

对于离线设备，以设备开始上料为测试起始时间 t_1 （s），以完成全部位置的三维CT图像重建，显示极片包覆值检测图像（人工判图）或自动极片包覆值检测（自动判图），并下料完成（具备再次上料条件）作为测试结束时间 t_2 （s），以此评估系统检测节拍P可按公式（3）计算。

$$P = \frac{60}{(t_2 - t_1)} \quad (3)$$

对于在线设备，检测节拍通常可以采用一定时间内可检测样件数量计算系统的平均检测节拍，采用相同规格大小的真实电芯样品进行测试，根据实际情况，将在线的N个电芯（一般 $N \geq 10$ ）依次检测，以第一个电芯进入设备作为测试起始时间 t_1 （s），第N个电芯检测完成作为测试结束时间 t_2 （s），系统检测节拍P可按公式（4）计算。

$$P = \frac{60}{(t_2 - t_1)/N} \quad (4)$$

6.2 系统安全试验

6.2.1 辐射安全试验

a) 目视检查系统设有钥匙开关和二次电源开关，且钥匙开关“通”、“断”位置标识清晰可辨；系统上电至少通过钥匙开关和二次电源开关才能完成。

b) 目视检查系统设有明显的通电指示灯和射线发射指示灯，系统上电时，通电指示灯点亮；X射线发射时，射线发射指示灯点亮。

c) 打开系统任一安全门、活动罩板，或按下系统任一紧急停止开关时，X射线立应即停止发射，射线发射指示灯熄灭。

d) 参照GB/T 37128-2018的方法，将X射线源设置在最大工作电压和最大工作电流下，使用经计量检定合格的X、 γ 辐射剂量当量率仪，在距离系统外表面5cm处进行巡测，测量时探头移动速度不超过5cm/s。任意巡测点处的泄漏剂量率均应满足5.2.1要求。

6.2.2 电气安全试验

6.2.2.1 保护接地试验

目测并采用接地电阻测试仪对保护接地端子与地线之间的电阻进行测量。

6.2.2.2 绝缘电阻试验

系统电源开关置接通位置，电源插头不接入电网，使用1000V绝缘电阻表对系统电源各相线及零线与外壳上的裸露金属部件之间的绝缘电阻进行测量，测量时施加1000V试验电压，稳定5秒后读取绝缘电阻值。

6.2.2.3 抗电强度试验

按5.2.2.3规定的电压值和加压时间，使用耐压测试仪对系统进行抗电强度试验，试验时，试验电压应在5秒内从0伏逐渐升至规定值，并保持1分钟。判定结果是否无击穿或飞弧现象。

6.2.2.4 可触及零部件允许电流限值试验

在正常工作条件下，使用泄漏电流测试仪按GB4793.1-2007附录A.1的测量电路，对5.2.2.4规定的试验部位进行测试。

在单一故障条件下（断开保护接地），使用泄漏电流测试仪按GB4793.1-2007附录A.1的测量电路，对5.2.2.4规定的试验部位进行测试。

6.2.3 机械安全试验

6.2.3.1 人员安全试验

- a) 目视检查确认所有运动件均已设置防护罩；
- b) 标准量规测量防护罩与运动件之间的间隙，应 $\leq 6\text{mm}$ ；
- c) 目视检查外露边缘是否有尖角、锐边、毛刺；
- d) 打开安全门、罩板或触发紧急停止开关，观察旋转部件是否停止运动。

6.2.3.2 设备安全试验

- a) 目视检查是否设置运动轴安全区；
- b) 切断电源和气源，观察夹持力是否保持，电池是否掉落等。

6.3 环境适应性试验

按照GB/T 2423.1、GB/T 2423.2、GB/T 2423.3的方法，将设备置于温湿度试验室中进行高低温及湿热试验，试验后复测基本性能与绝缘电阻。

6.4 电磁兼容性试验

6.4.1 抗扰度试验

按GB/T 17799.2-2023中第5章和第8章规定的方法进行试验。

6.4.2 电磁骚扰发射试验

按GB 17799.4-2022中第11章表1、表2、表3中规定的方法进行试验。

6.5 功能检查

按系统操作手册进行操作，检查5.5的各项系统功能是否符合要求。

7 检验规则

7.1 检验分类

检验分型式检验和出厂检验。

7.2 检验项目

不同类型检验的检验项目按表2的规定。

表 2 检验项目

序号	检验项目	技术要求	试验方法	型式检验	出厂检验
1	空间分辨率	5.1.1	6.1.1	●	●
2	测量正确度	5.1.2	6.1.2	●	●
3	设备检测能力	5.1.3	6.1.3	●	●
4	量具 GRR 分析	5.1.4	6.1.4	●	●
5	检测节拍	5.1.5	6.1.5	●	●
6	辐射安全	5.2.1	6.2.1	●	●
7	保护接地	5.2.2.1	6.2.2.1	●	●
8	绝缘电阻	5.2.2.2	6.2.2.2	●	●
9	抗电强度	5.2.2.3	6.2.2.3	●	-
10	可触及零部件允许电流限值	5.2.2.4	6.2.2.4	●	-
11	机械安全	5.2.3	6.2.3	●	●
12	环境适应性	5.3	6.3	●	-
13	电磁兼容性	5.4	6.4	●	-
14	系统功能	5.5	6.5	●	●

7.3 型式检验

有下列情况之一时，应进行型式检验：

- a) 新产品设计定型及转产时；
- b) 产品设计、工艺、材料有较大改变时；
- c) 出厂检验结果与上次型式检验有较大差异时；
- d) 国家质量技术监督部门提出型式检验要求时。

型式检验的项目全部合格，该批产品判为合格：型式检验中如发现安全项目不合格，则判定该批产品不合格，其他不合格项，允许对产品的相关部件进行调整或更换后重新检测，若不合格项经过两次调整后仍不合格，该批产品判为不合格。

7.4 出厂检验

产品出厂前应逐台进行出厂检验，检验合格获得产品合格证后方可出厂。

出厂检验项全部合格，该产品判为合格；检验过程中如有不合格项，应退回返修，返修后可再提交检验。复检时，允许仅对不合格项进行检验，如仍不合格，该产品判为不合格。

8 标志、包装、运输和贮存

8.1 随机文件

检测系统出厂时，随机文件应至少包括操作手册、维修手册、检验合格证、装箱清单和随机备附件清单。

8.2 产品标识

产品标识应包括：产品名称和型号、制造商名称、序列号或生产日期、主要参数（系统电压、功率、射线源电压、功率等）。

8.3 包装

产品包装应符合GB/T 13384的要求，并采取防潮、防震、防雨措施。

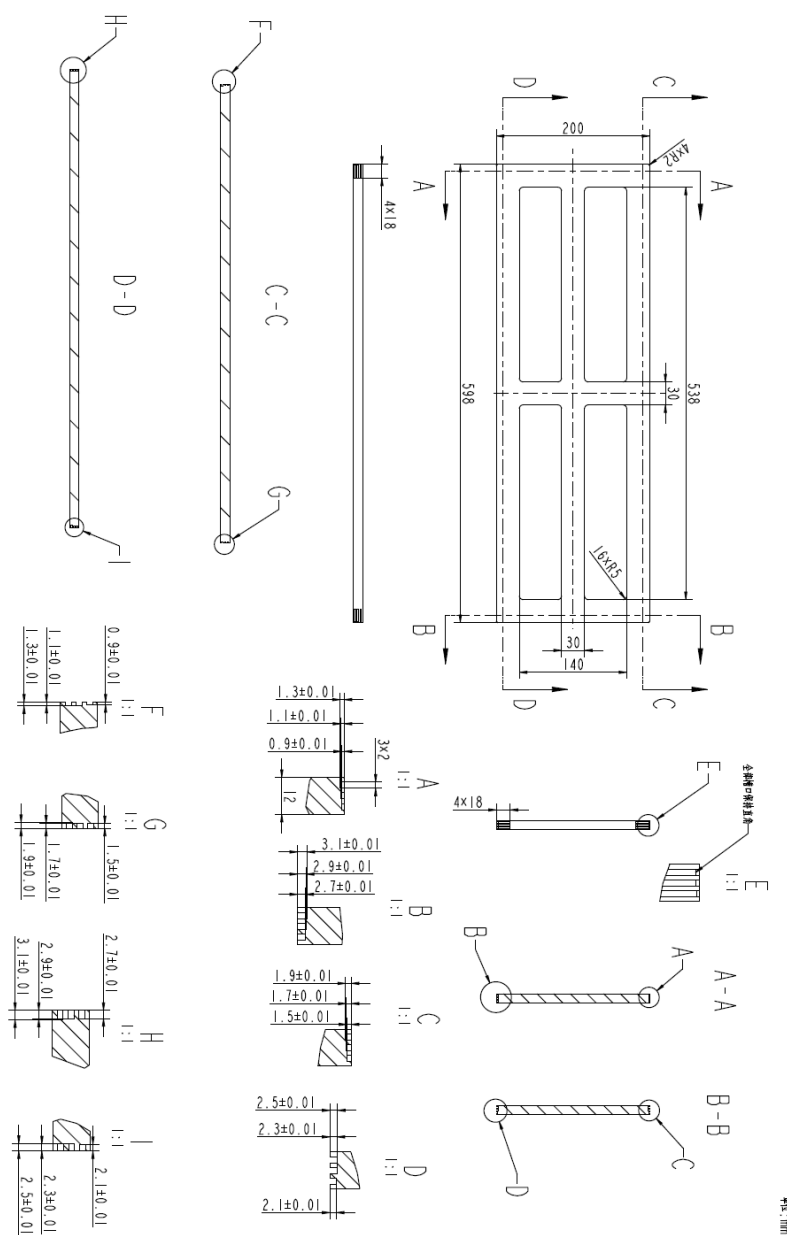
8.4 运输和贮存

产品在运输过程中应避免剧烈振动、冲击和雨雪淋袭。产品应贮存在干燥、通风、无腐蚀性气体的环境中，环境温度范围10℃~40℃，相对湿度不大于85%。

附录 A
(规范性附录)
标准测试件

标准测试件用于系统的测量数值校准与验证。标准测试件如图A. 1所示，图中标注数值仅作为示例，具体尺寸确定方式如下：

- (1) 标准测试件具体尺寸应与电芯规格尺寸一致，材料为铝。
- (2) 四角有特定长度凹槽，凹槽尺寸应根据电芯产品公差设定，宜覆盖整个公差范围。



图A.1 标准测试件

参 考 文 献

- [1] 美国汽车工业行动集团 (AIAG). 测量系统分析 (MSA) 参考手册 (第四版) [M]. 上海: 上海科学普及出版社, 2010.
-