

T/CWDPA

团 体 标 准

T/CWDPA XXX—2026

火试金自动化检测系统技术规范

Technical specification for automated fire assay detection system

（征求意见稿）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

2026 – XX – XX 发布

2026 – XX – XX 实施

中国西部开发促进会 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 系统构成与总体要求 2

5 自动配料系统 2

6 自动熔炼灰吹系统 4

7 智能物料搬运系统 5

8 一体化控制平台 6

9 检测性能 7

10 安全与环保 8

11 安装调试与验收 9

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。

本文件由青海西矿稀贵金属有限公司提出。

本文件由中国西部开发促进会归口。

本文件起草单位：青海西矿稀贵金属有限公司。

本文件主要起草人：XXX。

火试金自动化检测系统技术规范

1 范围

本文件规定了火试金自动化检测系统（以下简称“系统”）的系统构成与总体要求、自动配料系统、自动熔炼灰吹系统、智能物料搬运系统、一体化控制平台、检测性能、安全与环保、安装调试与验收。本文件适用于以火试金法测定金、银等贵金属含量的自动化检测系统的应用。

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。

- GBZ 2.1 工作场所有害因素职业接触限值 第1部分：化学有害因素
- GBZ 2.2 工作场所有害因素职业接触限值 第2部分：物理因素
- GB/T 4208 外壳防护等级（IP代码）
- GB/T 5226.1 机械电气安全 机械电气设备 第1部分：通用技术条件
- GB/T 8196 机械安全 防护装置 固定式和活动式防护装置的设计与制造一般要求
- GB/T 17248.3 声学 机器和设备发射的噪声 采用近似环境修正测定工作位置和其他指定位置的发射声压级
- GB/T 18268.1 测量、控制和实验室用的电设备 电磁兼容性要求 第1部分：通用要求
- GB 50054 低压配电设计规范
- GB 50116 火灾自动报警系统设计规范
- GB 50140 建筑灭火器配置设计规范
- GB 50254 电气装置安装工程 低压电器施工及验收规范
- JJG 539 数字指示秤检定规程
- JJG 1036 电子天平检定规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

自动配料系统 automatic batching system

按照预设配方自动完成多种试剂称量、投加及混合的系统，通常由称量单元、投加单元、混合单元及控制单元组成。

3.2

自动熔炼灰吹系统 automatic smelting and cupellation system

在高温环境下自动完成样品熔融、浇铸、灰吹及终点判定的系统，通常由马弗炉、机械臂、灰吹炉、视觉识别单元及温控单元组成。

3.3

智能物料搬运系统 intelligent material handling system

通过自动导引车（AGV）或机械臂实现物料在各工序间自动化搬运与流转的系统。

3.4

一体化控制平台 integrated control platform

基于可编程逻辑控制器（PLC）或工业计算机，实现各子系统协同控制、数据采集、工艺参数优化及信息化管理的综合控制系统。

3.5

灰吹终点 cupellation endpoint

灰吹过程中，铅等杂质金属被氧化去除，金银合金粒达到规定纯度和形态时的终止状态。

4 系统构成与总体要求

4.1 系统构成

系统应由以下子系统构成：

- a) 自动配料系统；
- b) 自动熔炼灰吹系统；
- c) 智能物料搬运系统；
- d) 一体化控制平台。

4.2 总体要求

4.2.1 系统设计应遵循模块化、标准化、可扩展的原则，各子系统应具有良好的兼容性和互换性。

4.2.2 系统应具备以下基本功能要求：

- a) 从样品接收、配料、熔融、灰吹到结果输出的全流程自动化；
- b) 工艺参数自动优化与动态调整能力；
- c) 全过程数据采集、存储、追溯与分析能力；
- d) 故障自诊断、报警及应急处理能力；
- e) 人机交互界面，支持远程监控与操作；
- f) 具备无人值守运行能力，异常工况下可安全停机并提示人工介入。

4.2.3 系统环境适应性应满足以下要求：

- a) 环境温度：5℃～40℃；
- b) 相对湿度：不大于85%；
- c) 海拔：不超过2000m；
- d) 供电电源：交流380V±10%，50Hz±2%，三相五线制；
- e) 压缩空气压力：0.5MPa～0.8MPa，露点不高于-20℃；
- f) 冷却水：进水温度不高于30℃，压力不低于0.2MPa。

4.2.4 系统应满足以下噪声与振动要求：

- a) 系统正常运行时，工作位置噪声声压级不应超过75dB（A）；
- b) 系统运行时不应产生明显振动，振动速度有效值不应超过4.5mm/s。

4.2.5 系统电磁兼容性应符合GB/T 18268.1的规定。

4.2.6 系统安全防护等级应符合GB/T 4208的规定，控制柜防护等级不应低于IP54，高温区域设备防护等级不应低于IP65。

5 自动配料系统

5.1 系统功能

5.1.1 自动配料系统应具备以下功能：

- a) 根据样品类型和检测要求自动调用或生成配料配方；
- b) 按照配方自动完成多种试剂的精确称量与投加；
- c) 实现物料的自动混合与防污染控制；
- d) 具备配方参数的自动生成与动态优化能力；
- e) 具备称量数据实时采集、存储与异常报警功能。

5.1.2 系统应支持不少于七种试剂的自动称量与投加。

5.2 称量单元

5.2.1 称量设备应满足以下精度要求：

- a) 主要试剂称量精度： $\pm 0.3\text{ g}$ ；
- b) 辅助试剂称量精度： $\pm 1.0\text{ g}$ ；
- c) 贵金属样品称量精度： $\pm 0.01\text{ mg}$ 。

5.2.2 称量设备应选用经检定合格的电子天平或称重模块，并符合 JJG 1036 或 JJG 539 的规定。

5.2.3 称量设备应具备以下功能：

- a) 自动去皮、校准和零点跟踪功能；
- b) 防风、防尘、防振动干扰措施；
- c) 称量数据自动记录与传输功能；
- d) 超差报警与自动重称功能。

5.3 投加单元

5.3.1 投加装置应采用密封式结构，防止试剂扬尘和交叉污染。

5.3.2 投加顺序和时间间隔应符合火试金工艺要求，投加误差不应超过设定值的 $\pm 2\%$ 。

5.3.3 投加完成后，应自动进行投加嘴清洁，清洁残留量不应超过 0.1 g 。

5.4 混合单元

5.4.1 混合装置应实现物料的均匀混合，混合时间应根据物料特性自动调整。

5.4.2 混合过程中应防止物料外溢和交叉污染，混合容器应便于清洁。

5.4.3 混合完成后，物料应自动转移至指定工位或容器。

5.5 控制单元

5.5.1 控制单元应基于 PLC 或工业计算机，具备配方管理、时序控制、数据采集与通信功能。

5.5.2 系统应具备历史配料数据积累与工艺参数自优化算法，能够根据历史数据自动生成或调整配方参数。

5.5.3 配料配方应支持手动编辑和自动调用，配方参数应包括试剂种类、称量量、投加顺序、混合时间等。

5.5.4 系统应具备批次管理功能，每个批次应生成唯一的批次编号，并记录完整的配料信息。

5.6 性能指标

5.6.1 配料精度应满足以下要求：

- a) 主要试剂称量相对误差不大于 $\pm 0.5\%$ ；
- b) 辅助试剂称量相对误差不大于 $\pm 1.0\%$ ；

- c) 贵金属样品称量相对误差不大于 $\pm 0.001\%$ 。

5.6.2 系统配料效率应满足以下要求：

- a) 单批次配料时间不大于 3 min；
- b) 系统日均处理样品量不低于 160 个/班次。

5.6.3 批次一致性应达到 99%以上。

6 自动熔炼灰吹系统

6.1 一般要求

- 6.1.1 系统应具备灰皿状态自动识别功能，能够识别灰皿的开裂、破损等缺陷状态，并触发报警提示。
- 6.1.2 系统应配备与坩埚、灰皿尺寸相匹配的专用夹具，夹具与坩埚、灰皿的配合公差应满足工艺要求。
- 6.1.3 坩埚和灰皿的材质应符合火试金工艺要求，具备良好的热震稳定性和高温强度，其材质和规格参数应在系统技术文档中明确标注。

6.2 系统功能

自动熔炼灰吹系统应具备以下功能：

- a) 自动完成样品的装填、送入、熔融、浇铸、脱模及灰吹；
- b) 实现熔炼温度的智能调节与精确控制；
- c) 实现灰吹终点的自动识别与判定；
- d) 具备高温环境下的安全防护与紧急停机功能；
- e) 具备熔炼过程数据采集与实时监控功能。

6.3 马弗炉

6.3.1 马弗炉应满足以下性能要求：

- a) 最高工作温度不低于 1200 °C；
- b) 炉膛有效工作区内，温度均匀性不大于 ± 10 °C；
- c) 温度控制精度不大于 ± 8 °C；
- d) 升温速率可调，最大升温速率不低于 15 °C/min；
- e) 炉膛尺寸应满足批量生产需求。

6.3.2 马弗炉应配备可靠的温度测量与控制系统，温度传感器应采用 K 型或 S 型热电偶，并定期校准。

6.3.3 马弗炉应具备超温报警和自动断电保护功能，超温保护设定值应高于工作温度上限 20 °C ~ 50 °C。

6.4 机械臂

6.4.1 机械臂应满足以下性能要求：

- a) 定位精度不大于 ± 0.5 mm；
- b) 重复定位精度不大于 ± 0.2 mm；
- c) 负载能力应满足坩埚、灰皿及物料的搬运需求；
- d) 工作半径应覆盖各工序工位。

6.4.2 机械臂应具备高温环境适应能力，关键部件应采用耐高温材料或配备冷却装置。

6.4.3 机械臂应具备碰撞检测和力矩限制功能，防止设备损坏和人员伤害。

6.5 温控单元

- 6.5.1 温控系统应采用闭环控制方式，基于红外测温或热电偶实时数据动态调整加热功率。
- 6.5.2 温控算法应能克服高温环境下的温度滞后和非线性干扰，确保温度控制的稳定性和响应速度。
- 6.5.3 温控系统应具备多段程序升温功能，升温曲线应根据不同物料特性预设并可调。

6.6 灰吹终点识别

- 6.6.1 灰吹终点识别应采用机器视觉技术，通过耐高温镜头实时采集灰吹过程图像。
- 6.6.2 视觉识别系统应满足以下要求：
 - a) 图像分辨率不低于 1920×1080 像素；
 - b) 帧率不低于 25 fps；
 - c) 具备耐高温、防粉尘能力；
 - d) 识别准确率不低于 99%。
- 6.6.3 灰吹终点判定宜综合考虑以下因素：
 - a) 合金粒的形态变化；
 - b) 合金粒的颜色变化；
 - c) 灰吹时间参数；
 - d) 温度变化趋势。
- 6.6.4 应具备灰吹终点的人工复核功能，当自动识别置信度低于设定阈值时，应提示操作人员进行人工确认。

6.7 性能指标

- 6.7.1 浇铸成功率应不低于 99%。
- 6.7.2 脱模成功率应不低于 99%。
- 6.7.3 灰吹终点识别准确率应不低于 99%。
- 6.7.4 连续运行时间应不低于 72 h 无故障。
- 6.7.5 马弗炉温度控制精度应达到 $\pm 8^\circ\text{C}$ 以内。

7 智能物料搬运系统

7.1 系统功能

智能物料搬运系统应具备以下功能：

- a) 实现物料在各工序（配料、熔炼、灰吹、存储等）间的自动化搬运；
- b) 具备路径规划与动态调度能力；
- c) 支持多任务优先级动态调整；
- d) 具备物料信息自动识别与跟踪功能；
- e) 具备安全避障和紧急制动功能。

7.2 AGV

- 7.2.1 AGV 应满足以下性能要求：
 - a) 运行速度：0.3 m/s~1.0 m/s 可调；
 - b) 定位精度： $\pm 5\text{ mm}$ ；
 - c) 负载能力：不低于 50 kg；

d) 续航能力：连续运行时间不低于 8 h。

7.2.2 AGV 应配备以下安全装置：

- a) 激光或视觉避障传感器；
- b) 紧急停止按钮；
- c) 声光报警装置；
- d) 防碰撞缓冲装置。

7.2.3 AGV 应具备自动充电功能，电量低于设定阈值时应自动返回充电站。

7.3 调度系统

7.3.1 调度系统应实现多 AGV 的协同调度，避免路径冲突和拥堵。

7.3.2 调度系统应支持任务优先级动态调整，紧急任务应优先执行。

7.3.3 调度系统应具备任务状态实时监控和异常报警功能。

7.4 物料识别与跟踪

7.4.1 系统应采用二维码、RFID 或其他识别技术实现物料信息的自动识别。

7.4.2 物料信息应包括样品编号、批次号、工序状态、工艺参数等。

7.4.3 物料流转信息应实时上传至一体化控制平台，实现全过程追溯。

8 一体化控制平台

8.1 系统架构

8.1.1 一体化控制平台应采用分层架构设计，包括设备层、控制层、数据层和应用层。

8.1.2 设备层应实现各子系统设备的互联互通，通信协议宜采用工业以太网协议。

8.1.3 控制层应基于 PLC 或工业计算机实现各子系统的协同控制和时序调度。

8.1.4 数据层应实现工艺数据、设备状态数据、质量数据的集中存储与管理。

8.1.5 应用层应提供人机交互界面、数据分析和报表生成等功能。

8.2 控制系统

8.2.1 控制系统通信周期不大于 10 ms。

8.2.2 控制系统应具备以下功能：

- a) 各子系统的时序调度与联动控制；
- b) 工艺参数的实时采集与闭环优化；
- c) 设备状态的实时监控与故障诊断；
- d) 安全联锁与紧急停机控制；
- e) 数据通信与信息交互。

8.2.3 系统指令执行准确率应不低于 99.5%。

8.3 数据采集与处理

8.3.1 系统应实现以下数据的实时采集：

- a) 配料数据：试剂称量值、投加时间、混合参数等；
- b) 熔炼数据：温度曲线、升温速率、保温时间等；
- c) 灰吹数据：灰吹时间、终点识别结果、图像数据等；
- d) 设备数据：运行状态、故障信息、维护记录等。

8.3.2 数据采集频率应满足以下要求：

- a) 温度数据：不低于 1 Hz；
- b) 称量数据：不低于 10 Hz；
- c) 设备状态数据：不低于 1 Hz；
- d) 图像数据：不低于 25 fps。

8.3.3 数据存储应满足以下要求：

- a) 原始数据保存期限不少于 5 年；
- b) 数据应具备防篡改和备份恢复机制；
- c) 数据存储格式应标准化，便于导出和分析。

8.4 信息化管理

8.4.1 系统应具备以下信息化管理功能：

- a) 样品信息录入与管理；
- b) 检测任务排程与调度；
- c) 检测结果自动计算与判定；
- d) 检测报告自动生成与输出；
- e) 质量统计分析与趋势预警。

8.4.2 系统应支持与实验室信息管理系统（LIMS）的数据对接，实现检测数据的无缝流转。

8.4.3 系统应具备用户权限管理功能，不同角色应具有不同的操作权限。

8.5 人机交互界面

8.5.1 人机交互界面应采用图形化设计，操作直观、便捷。

8.5.2 界面应实时显示以下信息：

- a) 系统运行状态；
- b) 各工序工艺参数；
- c) 设备运行状态；
- d) 报警与提示信息；
- e) 生产统计信息。

8.5.3 界面应具备以下操作功能：

- a) 手动/自动模式切换；
- b) 工艺参数设定与修改；
- c) 设备单步操作与调试；
- d) 报警确认与复位；
- e) 数据查询与报表导出。

9 检测性能

9.1 处理能力

9.1.1 系统日均处理样品量应不低于 160 个/班次（8 h）。

注：指标为标准样品、标准基体条件，高硫、高铜、铬铁矿等复杂难熔样品允许周期延长。

9.1.2 系统单批次处理周期应不大于 30 min。

9.2 检测精度

9.2.1 系统检测结果与传统人工火试金法结果的相关系数 R^2 应不低于 0.995。

9.2.2 系统检测重复性应满足以下要求：

- a) 金含量测定相对标准偏差（RSD）不大于 0.3%；
- b) 银含量测定相对标准偏差（RSD）不大于 0.5%。

9.2.3 系统检测准确度应满足以下要求：

- a) 金含量测定相对误差不大于 $\pm 0.5\%$ ；
- b) 银含量测定相对误差不大于 $\pm 1.0\%$ 。

9.3 运行稳定性

9.3.1 系统连续运行 72 h，故障停机时间累计不应超过 30 min。

9.3.2 系统批次一致性应达到 99%以上。

9.4 效率提升

9.4.1 与传统人工操作相比，系统检测效率提升应不低于 50%。

9.4.2 系统人力成本降低应不低于 60%。

10 安全与环保

10.1 机械安全

10.1.1 系统机械部分应符合 GB/T 8196 的规定，运动部件应设置防护装置。

10.1.2 机械臂、AGV 等移动设备应设置安全围栏和警示标识。

10.1.3 系统应具备紧急停机功能，紧急停机按钮应设置在便于操作的位置。

10.2 电气安全

10.2.1 系统电气部分应符合 GB/T 5226.1 和 GB 50054 的规定。

10.2.2 系统应设置可靠的接地保护，接地电阻不应大于 $4\ \Omega$ 。

10.2.3 高温区域电缆应采用耐高温型，并设置隔热保护措施。

10.2.4 控制柜应设置漏电保护和过载保护装置。

10.3 高温防护

10.3.1 马弗炉、灰吹炉等高温设备应设置隔热层，外表面温度不应高于 $50\ ^\circ\text{C}$ 。

10.3.2 高温区域应设置明显的警示标识和防护栏。

10.3.3 系统应具备超温报警和自动断电保护功能。

10.4 粉尘与有毒气体防护

10.4.1 系统应配备有效的通风除尘装置，工作场所空气中粉尘浓度应符合 GBZ 2.1 的规定。

10.4.2 铅蒸气、氧化铅粉尘等有毒有害物质应通过局部排风系统进行收集处理，排放应符合 GBZ 2.1 的规定。

10.4.3 系统应配备铅尘浓度在线监测装置，当浓度超过设定阈值时应自动报警。

10.5 消防安全

10.5.1 系统应配备火灾自动报警系统和灭火装置，符合 GB 50116 和 GB 50140 的规定。

10.5.2 高温区域应设置感温火灾探测器。

10.5.3 系统应配备应急照明和疏散指示标志。

10.6 职业健康

10.6.1 系统运行后，操作人员应与高温、重金属粉尘等有害因素实现有效隔离。

10.6.2 工作场所噪声应符合 GBZ 2.2 的规定。

10.6.3 系统应定期进行职业危害因素检测，检测项目应包括粉尘、噪声、高温等。

10.7 环境保护

10.7.1 系统产生的废渣、废水应进行分类收集和无害化处理，符合相关环保法规要求。

10.7.2 系统能耗应进行监测和优化，优先采用节能型设备和技术。

10.7.3 系统运行噪声应符合 GB/T 17248.3 的规定，厂界噪声不应超过昼间 65 dB (A)、夜间 55 dB (A)。

11 安装调试与验收

11.1 安装要求

11.1.1 系统安装前，应完成以下准备工作：

- a) 安装场地应符合设计要求，包括面积、承重、通风、供电等；
- b) 基础施工应完成并验收合格；
- c) 必要的辅助设施（水、电、气、通风等）应安装到位；
- d) 安装工具和检测设备应准备齐全。

11.1.2 设备安装应按照制造商提供的安装手册进行，安装精度应符合设计要求。

11.1.3 电气安装应符合 GB 50254 的规定，接线应正确、牢固、标识清晰。

11.1.4 网络通信线路应敷设规范，信号传输应稳定可靠。

11.2 调试要求

11.2.1 系统调试应分为以下阶段：

- a) 单体调试：各子系统单独运行调试；
- b) 联调联试：各子系统联合运行调试；
- c) 负荷调试：满负荷运行调试；
- d) 稳定性调试：连续运行调试。

11.2.2 单体调试应验证以下内容：

- a) 设备运行是否正常；
- b) 控制逻辑是否正确；
- c) 传感器信号是否准确；
- d) 安全保护功能是否有效。

11.2.3 联调联试应验证以下内容：

- a) 各子系统之间的通信是否正常；
- b) 时序调度是否准确；
- c) 数据交互是否正确；
- d) 联动控制是否协调。

11.2.4 负荷调试应验证系统在满负荷条件下的运行性能。

11.2.5 稳定性调试应连续运行不少于 72 h，记录运行数据和故障情况。

11.2.6 设备硬件调试完成后，应采用标准物质做整套系统方法验证。

11.3 验收要求

11.3.1 系统验收应包括以下文件：

- a) 设备出厂合格证和检验报告；
- b) 安装调试记录；
- c) 功能验证试验报告；
- d) 性能测试报告；
- e) 安全检测报告；
- f) 操作维护手册；
- g) 培训记录。

11.3.2 系统功能验收应按照本文件及相关产品标准的规定进行，所有功能验证项目应全部合格。

11.3.3 系统性能验收应按照第9章的规定进行，所有性能指标应达到或超过设计要求。

11.3.4 系统安全验收应包括以下内容：

- a) 机械安全防护装置检查；
- b) 电气安全检测；
- c) 消防安全检查；
- d) 职业卫生检测；
- e) 环保设施检查。

11.3.5 验收合格后，应出具验收报告，双方签字确认。

11.4 证实方法

11.4.1 自动配料系统

11.4.1.1 称量精度验证：选取标准砝码（质量分别为50 g、100 g、200 g、500 g），每种质量进行10次称量，记录每次称量值。计算平均值、标准偏差和相对误差。

11.4.1.2 投加精度验证：选取标准物料，设定投加量，进行10次投加试验，每次投加后称量实际投加量。计算平均值、标准偏差和相对误差。

11.4.1.3 混合均匀性验证：选取具有代表性的混合物料，从不同位置取样，进行成分分析，各位置成分偏差应不大于±1%。

11.4.2 自动熔炼灰吹系统

11.4.2.1 温度控制精度验证：在马弗炉工作区域内均匀布置不少于9个测温点，设定目标温度，待温度稳定后，记录各点温度值。计算温度偏差和均匀性。

11.4.2.2 机械臂定位精度验证：设定机械臂目标位置，进行10次定位试验，使用激光跟踪仪或三坐标测量机测量实际位置。计算定位精度和重复定位精度。

11.4.2.3 灰吹终点识别准确率验证：选取已知灰吹终点的样品不少于50个，进行自动识别试验。记录识别结果，计算识别准确率。

11.4.3 智能物料搬运系统

11.4.3.1 AGV定位精度验证：设定AGV目标位置，进行10次定位试验，测量实际位置偏差。

11.4.3.2 调度系统功能验证：模拟多任务场景，验证调度系统的任务分配、路径规划和冲突避免能力。任务完成率应达到100%，平均等待时间不应超过设定值的110%。

11.4.4 一体化控制平台

11.4.4.1 数据采集完整性验证：连续运行系统不少于 8 h，检查数据采集的完整性和准确性。数据丢失率不应超过 0.1%，数据错误率不应超过 0.01%。

11.4.4.2 系统指令执行准确率验证：连续发送不少于 1000 条控制指令，记录指令执行结果。计算指令执行准确率。

11.4.5 系统整体

11.4.5.1 连续运行稳定性验证：系统连续运行不少于 72 h，记录故障停机次数和累计停机时间。

11.4.5.2 检测精度验证：选取标准样品（金含量已知）不少于 20 个，进行重复检测。计算检测结果的平均值、标准偏差、相对标准偏差和相对误差。

11.4.5.3 检测效率验证：记录系统在一个班次（8 h）内完成的检测样品数量，计算日均处理量。
