

在线近红外法快速测定石英砂中的水分含量

方案编号：HM-ZHS-002

适用仪器：HM-ZHS 在线近红外水分分析系统

发布日期：2026 年 3 月 18 日

1 前言

水分含量是石英砂品质控制的核心指标之一，直接影响石英砂的加工性能、贮存稳定性、产品纯度及工业应用价值。石英砂水分含量过高易导致结块、筛分困难，影响后续研磨、浮选等加工工序，还可能造成烘干能耗增加；过低则会产生大量粉尘，危害生产环境与操作人员健康。石英砂根据不同应用行业对水分含量要求有严格把控，从高纯光伏、电子用石英砂至普通石英砂的水分含量大致为 0.01%~8.00%，该指标是石英砂生产、加工、流通环节质量把控的重要依据。

石英砂传统水分检测采用烘箱直接干燥法，虽结果准确但操作繁琐、耗时较长（需 6~8 小时），无法满足生产线上实时监控、快速调整的需求。本方案采用在线近红外水分分析系统，基于水分子对特定近红外波段的特征吸收原理，实现石英砂水分的非接触、实时、快速检测。该方法具备自动化程度高、检测速度快、非破坏性、可连续监测的特点，能高效匹配石英砂工业化生产的质量管控需求，为生产过程的实时调整（如烘干参数优化）提供数据支撑。

2 仪器与试剂

2.1 仪器

HM-ZHS 在线近红外水分分析系统；分析天平（感量 0.0001g）；烘箱、干燥器、铝制/玻璃制的扁型称量瓶、计时器、尺子等。

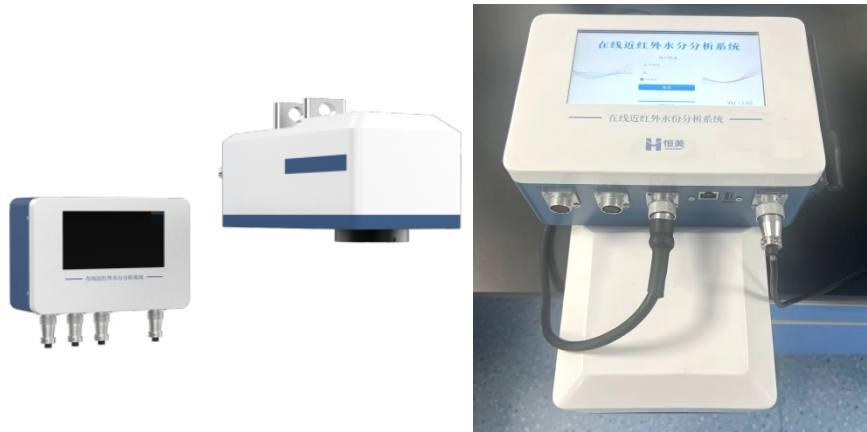


图 1：HM-ZHS 在线近红外水分分析系统外观图

2.2 试剂

石英砂标样。

石英砂标样选择要求：需具有代表性，无结块、杂质、油污，粒度符合生产要求，覆盖目标

检测样的水分含量区间，一般范围为 0.00%-8.00%，用于仪器标定。标样需在恒温恒湿环境下均衡 72 小时以上，均衡误差（同一样品三份平行样的烘箱结果的极差）应控制在 0.3% 以内，剔除结块、霉变的异常标样，标样覆盖面越广，测试越准确，最多不超过 200 个。

3 实验方法

3.1 直接干燥法（烘箱法）测石英砂标样水分含量真值

（1）取洁净铝制或玻璃制的扁形称量瓶，置于 101℃~105℃干燥箱中，瓶盖斜支于瓶边，加热 1.0h，取出盖好，置干燥器内冷却 0.5h，称量，并重复干燥至前后两次质量差不超过 2mg，即为恒重。将混合均匀的试样迅速磨细至颗粒小于 2mm，不易研磨的样品应尽可能切碎，称取 2g~10g 试样（精确至 0.0001g），放入此称量瓶中，试样厚度不超过 5mm，如为疏松试样，厚度不超过 10mm，加盖，精密称量后，置于 101℃~105℃干燥箱中，瓶盖斜支于瓶边，干燥 2h~4h 后，盖好取出，放入干燥器内冷却 0.5h 后称量。然后再放入 101℃~105℃干燥箱中干燥 1h 左右，取出，放入干燥器内冷却 0.5h 后再称量。并重复以上操作至前后两次质量差不超过 2mg，即为恒重。

注：两次恒重值在最后计算中，取质量较小的一次称量值。

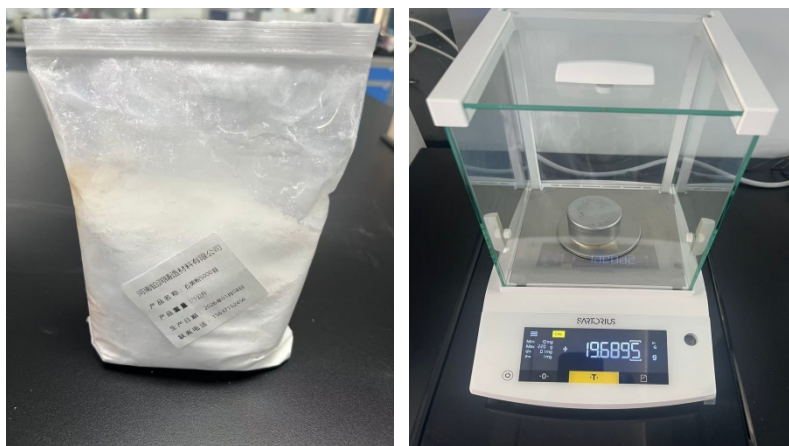


图 2：样品称量

（2）试样中的水分含量，按下式进行计算：

$$X=(m_1-m_2)/(m_1-m_3) \times 100$$

式中：

X-试样中水分的含量，单位为克每百克（g/100g）；

m1-称量瓶和试样的质量，单位为克（g）；

m2-称量瓶和试样干燥后的质量，单位为克（g）；

M3-称量瓶的质量，单位为克（g）；

100-单位换算系数。

水分含量≥1g/100g 时，计算结果保留三位有效数字；水分含量<1g/100g 时，计算结果保留两位有效数字。

3.2 HM-ZHS 在线近红外水分分析系统石英砂测试算法建立

3.2.1 仪器基础参数设置

仪器开机预热 30 分钟后，进入系统设置界面完成基础参数配置，具体设置值见表 1。

表 1 在线近红外水分分析系统基础参数设置

参数项	设置值	说明
响应周期	4s	适配石英砂生产线传送带速度，兼顾响应速度与数据稳定性
存储周期	5min	实时记录检测数据，满足生产监控数据留存需求
水分值类型	平均值	系统默认，避免单次检测波动影响结果
水分值精度	0.01%	提高石英砂水分检测的精准度
低限警报	0.00%	贴合石英砂生产低水分质控需求
高限警报	8.00%	贴合石英砂生产最高水分质控需求
光斑直径	60-90mm	匹配生产线石英砂物料检测区域
工作距离	250mm±50mm	保证检测光路稳定，无杂光干扰

3.2.2 石英砂测试算法建立

在仪器主界面进入算法管理，选择窄范围精确算法（适配石英砂水分 0.00%~8.00%的窄区间检测需求）。将已定值的石英砂标样依次置于仪器探头测量范围内，待数据稳定后，输入标样烘箱水分值，点击截取完成光谱与水分值的匹配采集，累计采集标样数据不少于 20 个。点击 PLSR 拟合，仪器自动生成拟合算法，将算法添加至仪器算法数据库，命名为石英砂专用算法。

3.2.3 石英砂测试算法二次标定

(1) 二次标定：进入仪器标定界面，选择上述石英砂专用算法，将上述参与标定的至少 5 个标样进行重复光谱与水分含量的匹配，标定完成后，点击拟合，要求拟合相关系数 $R^2 \geq 0.90$ ，添加至仪器处方数据库，并进行处方命名，检测时可直接调用。

(2) 处方验证：在相同检测条件下，对已进行烘箱法测真值的样品选择相应处方名称后，进行测试，准确性 $\leq 0.5\%$ 且重复测定 5 次，稳定性 $\leq 0.5\%$ ，即算法、处方建立成功。

3.3 在线样品检测步骤

1、仪器安装：将在线近红外水分分析系统的检测探头通过悬臂固定于石英砂生产线传送带

上方，保证探头与石英砂物料表面垂直，工作距离控制在 250mm±50mm，加装遮光罩避免阳光直射。

2、处方调用：在仪器检测设置界面，选择上述已建处方名称，即可进行测试。

3、启动检测：开启生产线传送带，启动仪器自动检测程序，仪器将对传送带上的石英砂进行非接触式连续检测，实时显示水分值，并按设定的存储周期自动记录数据（最大值、最小值、平均值）。

4、数据上传：若需远程监控，开启仪器 Wi-Fi/网线联网功能，打开自动上传设置，检测数据将实时上传至数据管理平台。



图 3：目标样品水分含量测试过程及界面图（实验室测试）

4 结果与讨论

4.1 结果计算与表示

- 1、在线近红外法：仪器直接显示石英砂水分含量（%），结果保留两位小数。
- 2、烘箱法参考计算公式：

$$X = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_0} \times 100$$

式中：

X—石英砂水分含量，单位为克每百克（g/100g）；

m₀ —铝制称量盒恒重质量，单位为克（g）；

m₁ —铝制称量盒+石英砂样品烘前质量，单位为克（g）；

m₂ —铝制称量盒+石英砂样品烘后恒重质量，单位为克（g）。

4.2 测试结果示例

选取 3 个不同批次的石英砂样品，用烘箱法测试水分含量真值。选用已建好的处方进行水分含量测试，测试结果如下：

表 2 石英砂水分检测结果 (g/100g)

样品名称	烘箱法测定值	近红外法测定值 (平均值)	绝对偏差
石英砂-1	0.06	0.07	+0.01
石英砂-2	0.04	0.07	+0.03
石英砂-3	0.24	0.11	-0.13

4.3 准确性与稳定性

在重复性条件下，对同一石英砂样品进行 5 次在线近红外法连续检测，结果的稳定性极差 $\leq 0.5\%$ ；在线近红外法检测结果与烘箱法（国标基准方法）的绝对偏差 $\leq 0.5\%$ ，满足石英砂生产过程质量控制的检测要求。

5 方案特点与优势

5.1 仪器优势

- 1、非接触无损伤：检测过程不接触石英砂物料，无样品损耗，不影响生产线正常运行。
- 2、实时快速检测：单次检测仅需数秒，可实现生产线连续在线监控，相比烘箱法效率提升上百倍。
- 3、数据稳定可靠：采用双探测器+多温度传感器温漂补偿设计，7 波段 14 光程光路，有效消除杂光、设备漂移干扰，检测结果稳定性高。
- 4、操作便捷：7 寸高清安卓触摸屏，UI 交互界面直观，石英砂专用处方一键调用，无需专业人员操作。
- 5、数据可追溯：16G 大容量存储，可保存 2 万条检测数据，支持数据导出、实时上传，满足生产溯源需求。

5.2 方案适用性

- 1、样品类型：支持不同目数石英砂。
- 2、检测范围：水分含量 0%~60%（适配国标石英砂水分限量要求，可通过调整标样扩展检测范围）。
- 3、应用场景：石英砂生产线上的连续在线检测、原料入厂快速筛查、成品出厂质量检测等。
- 4、检测时效：单样品在线检测 $\leq 5s$ ，批量连续检测无间隔，适配工业化大生产节奏。

5.3 质量控制要点

- 1、标样控制：标样水分需覆盖石英砂实际生产的水分区间，标样均衡处理需满足 72 小时恒温恒湿，平行样极差 $\leq 0.3\%$ 。
- 2、环境控制：检测探头需避开阳光直射、强电磁场、强烈振动源，石英砂生产粉尘较大，需为探头加装防尘罩，定期清理周围粉尘。
- 3、探头维护：每周用酒精棉签轻轻清洁探头光学镜片，避免指纹、油污、粉尘影响光路，

保证检测精度。

4、定期校准：仪器连续使用 30 天或生产线更换石英砂品种时，需用石英砂标样对检测处方进行重新验证或修正，确保结果准确。

6 结论

采用在线近红外水分分析系统测定石英砂中水分含量，方法基于水分子近红外特征吸收原理，通过建立石英砂专用检测算法和处方，实现了石英砂水分的非接触、实时、快速检测。该方法检测结果与行业标准烘箱直接干燥法一致性良好，重复性高，操作简便，检测效率远高于传统方法，且适配石英砂低水分精准检测需求，完全满足石英砂工业化生产过程中实时质量监控、快速工艺调整（如烘干参数优化）的需求。

本方案不仅适用于各类石英砂的水分检测，还可通过调整标样和算法，拓展至石英砂衍生品、长石等类似非金属矿物的水分快速检测，为非金属矿物加工行业的质量管控提供高效、可靠的技术手段，对提升生产效率、降低烘干能耗、保障产品质量具有重要意义。

7 参考文献

- [1] GB/T 5009.3-2016 食品安全国家标准 食品中水分的测定[S].
- [2] GB/T 14684-2022 建设用砂[S].