

大型仪器维护与维修 (269 ~ 275)

岛津 LC-20A 型液相色谱仪示差折光检测器 常见故障排除

杜诗雨

(国药集团化学试剂沈阳有限公司, 辽宁 沈阳 110000)

摘要: 针对岛津 LC-20A 型液相色谱仪的示差折光检测器(RID)在实际应用中频繁出现的基线异常波动、灵敏度降低以及重复性差等典型故障, 系统性地研究了其成因, 并提出有效的排除与预防策略。基于在仪器分析领域的实践经验, 结合日常故障案例统计分析, 深入探究了基线异常现象(包括基线毛刺状、持续向下漂移、持续向上漂移及周期性杂峰)的产生根源, 并系统分析了灵敏度降低(峰面积减小)和重复性差(RSD>1%)的主要原因。针对以上问题提出了解决方案, 包括更换流动相、清洗/更换耗材(吸滤头、色谱柱、检测池)、排除气泡(系统流路、参比池)、调整检测器光源电压、校正进样针位置以及优化色谱柱保存与冲洗规程等。结果表明, 构建系统化的多级防御体系是有效排除 RID 检测器故障并保障其长期稳定运行的关键, 该体系包括以下内容: 制定严谨的操作规范、实施耗材的周期性维护、建立关键参数(基线噪声、系统压力、标准峰面积)的历史数据库并进行实时监控, 以及根据环境因素制定预防性维护策略(如流动相更换频率)。以为 RID 检测器的故障诊断与日常维护提供系统性的实践指导。

关键词: 液相色谱仪; RID 检测器; 基线波动; 故障排除

中图分类号: O657.7⁺2

文献标志码: B

文章编号: 1006-3757(2025)04-0269-07

DOI: 10.16495/j.1006-3757.2025.04.009

CSTR: 32263.14.j.1006-3757.2025.04.009

Troubleshooting Common Failures of Differential Refractive Index Detector for Shimadzu LC-20A Liquid Chromatograph

DU Shiyu

(Sinochem Reagent Shenyang Co. Ltd., Shenyang 110000, China)

Abstract: The causes for the common failures, such as abnormal baseline drift, low sensitivity, and poor repeatability of the differential refractive index detector (RID) for the Shimadzu LC-20A high-performance liquid chromatograph were systematically studied. And the effective troubleshooting and preventive strategies were developed. Based on the practical experience in the field of instrumental analysis and combined with statistical analysis of routine fault cases, the root causes of specific abnormal phenomena, including pronounced sawtooth baseline, persistent downward baseline drift, persistent upward baseline drift, and periodic ghost peaks, were thoroughly explored. The primary reasons for low sensitivity (decreased peak area) and poor repeatability (RSD > 1%) were also analyzed. The targeted solutions were proposed for the above problems, including replacing the mobile phase, cleaning/replacing consumables (solvent inlet filter, chromatographic column, detector cell), eliminating bubbles (system flow path, reference cell), adjusting the detector lamp voltage, calibrating the springle position, and optimizing the procedures for column storage and flushing. The results showed that constructing a systematic multi-level defense system is key to effectively troubleshooting RID detector faults and ensuring its long-term stable operation. The system included establishing rigorous operating procedures, implementing periodic maintenance of consumables, establishing a historical databases for key parameters (baseline noise, system pressure, standard peak area) with real-time monitoring, and developing preventive maintenance strategies based on environmental factors (such as the frequency of mobile phase replacement). The study provides

收稿日期: 2025-05-08; 修订日期: 2025-06-17

作者简介: 杜诗雨(1995—), 男, 助理工程师, 主要从事工程类化工方向领域, E-mail: 609762297@qq.com

systematic practical guidance for the fault diagnosis and routine maintenance of RID detector.

Key words: liquid chromatograph; RID detector; baseline fluctuation; troubleshooting

液相色谱仪的核心组件包含以下 5 大功能模块: 流动相动力输送系统(含 Purge 排气功能)、温度调节控制单元、色谱分离系统、检测器(如示差折光检测器/RID)及数据处理软件工作站(图 1)。值得关注的是, 虽然现代液相色谱仪普遍配备智能故障诊断系统, 但大多数异常情况仍需操作人员通过色谱图异常、系统压力波动或进样异常等现象进行人工分析排查。目前文献中关于液相色谱仪故障排除的研究主要集中在通用性硬件维修(如泵密封圈更换、单向阀清洗)^[1], 而针对 RID 检测器特有问题的系统性解决方案还较少, 现有的 RID 检测器使用说明书中也仅提供了一些基本参数设置和故障代码对应问题解决方案, 并未对异常谱图的成因展开详细分析。本文基于作者在仪器分析领域的实践经验, 结合日常实际操作中故障案例统计分析, 重点探讨基线异常波动、灵敏度衰减与重复性差等典型问题的成因, 并提出创新性维护策略。与现有研究相比, 本文的创新点在于构建系统压力异常、污染累积、模块失常与基线噪声的关联逻辑, 形成故障快速定位、耗材成本降低、维护方案优化的一体化解决方案。

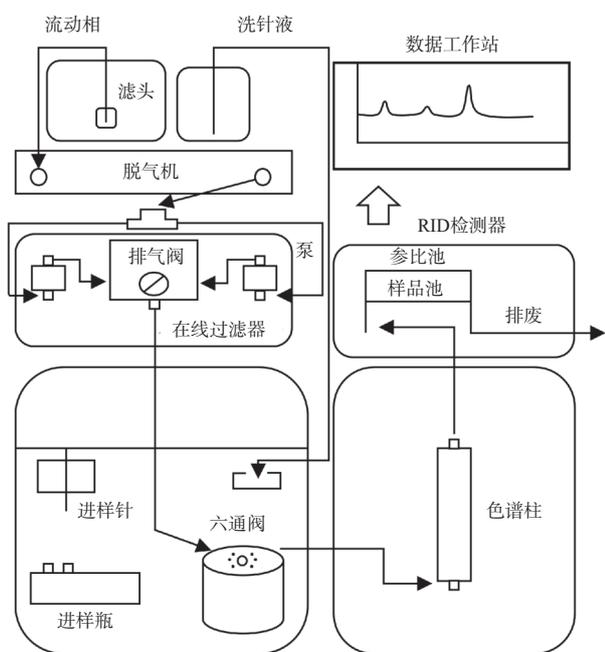


图 1 液相色谱仪 RID 检测器组成示意图

Fig. 1 Schematic diagram of liquid chromatograph with RID detector

在故障处理方面需遵循特定原则。商用仪器通常要经过严格的环境测试、电磁兼容验证及质量认证流程, 其硬件故障发生率极低。在日常工作中, 约 90% 的其他类型故障实则源于操作失误、维护缺失或耗材超期等人为因素。此类故障通常会在数据系统中呈现异常谱图特征, 建议采取“先简后繁”的排查策略, 即优先检查易损件与常规耗材, 这样既可以提升维护效率, 又能显著降低维修成本。以下对液相色谱仪 RID 检测器的常见故障案例进行分析, 并给出相应解决办法。

1 基线不稳

以岛津 LC-20A 型液相色谱仪为例, 按检测标准配制流动相, 连接色谱柱并设置分析方法, 将吸滤头置于流动相中, 打开泵排气阀并执行“purge”(快速排气程序)排除管路气泡, 完毕后关闭排气阀。启动泵以设定流速输送流动相, 待柱温箱达到设定温度(波动 ± 0.5 °C 以内)后, 在软件工作站点击“R flow”选项(冲洗参比池流路程序), 打开 RID 检测器使流动相进入参比池通道, 观测软件工作站系统基线直至达到平稳状态(通常需要 15~30 min), 待基线平稳后再次点击“R flow”选项关闭参比池通道。在软件工作站中点击“balance”选项(检测池平衡程序), 使流动相进入样品池进行平衡, 观测软件工作站系统基线, 待其达到平稳状态(通常需要 15~30 min)后, 点击“ZERO”将基线归零, 以便观察, 随后监视基线稳定情况(通常需要 15~30 min), 平衡后正常基线如图 2 所示。

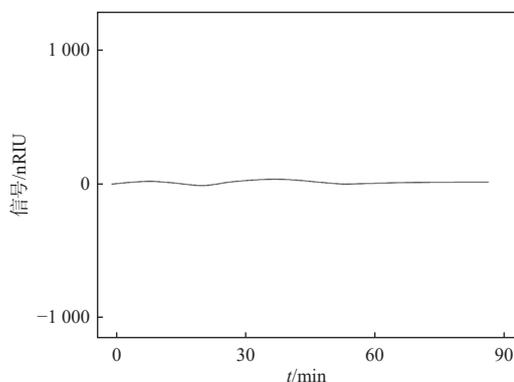


图 2 平衡后正常基线示意图

Fig. 2 Schematic diagram of normal baseline after equilibration

系统平衡需要 30~90 min 达到稳定状态, 若工作站显示基线仍然不稳定(图 3), 则可能为基线漂

移异常. 当出现这 4 种非正常漂移时, 可以从以下几个方面分别排除原因, 进而解决故障.

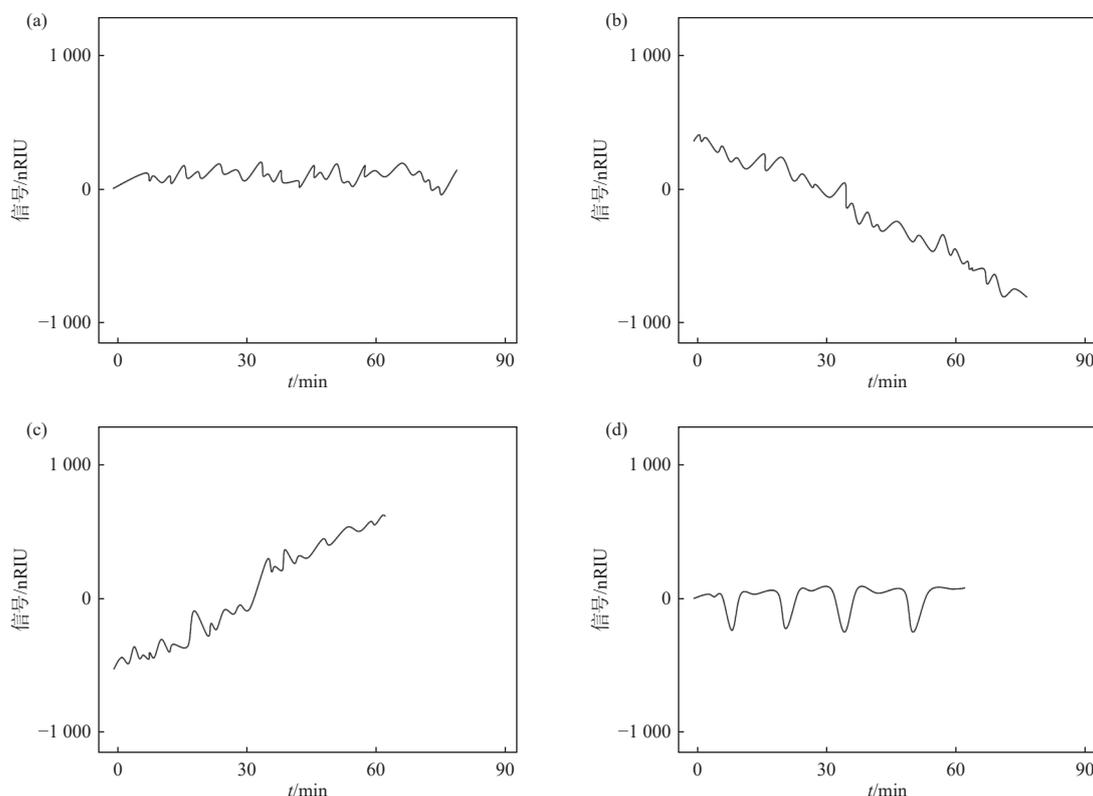


图 3 基线漂移异常示意图

(a) 基线明显毛刺状, (b) 基线持续向下, (c) 基线持续向上, (d) 规律性杂峰

Fig. 3 Schematic diagram of abnormal baseline drift

(a) pronounced sawtooth baseline, (b) persistent downward baseline drift, (c) progressive upward baseline drift, (d) periodic ghost peaks

1.1 基线毛刺状

色谱图基线呈现明显的毛刺状 [图 3(a)], 通常是由于流动相、吸滤头污染以及色谱柱固定相、柱筛板污染导致的检测信号波动. 可以采用以下方法进行消除.

(1) 更换流动相. RID 检测器所用的流动相介质较为简单, 如在糖类分析中, 通常使用以超纯水为主的流动相, 但其易受环境因素的影响. 例如, 在高温、潮湿等条件下, 流动相容易滋生微生物, 甚至肉眼可见絮状物, 从而导致流动相路径堵塞. 此类污染在糖类分析中尤为常见, 不仅会造成基线不稳, 还会污染色谱柱. 因此, 建议对水相流动相进行过滤(0.22 μm)且每日更换, 同时应避免阳光直射. 此外, 需保持液相色谱仪所在环境温度在 15~30 $^{\circ}\text{C}$ 范围内, 波动不超过 2 $^{\circ}\text{C}$, 室内相对湿度控制在 20%~

85% 之间^[2-3].

(2) 更换或清洗金属吸滤头. 操作人员应严格执行仪器的周期性维护规程, 流动相吸滤头作为耗材, 需根据污染程度定期更换或超声清洗. 当肉眼观察到吸滤头外壁附着有絮状物或所连接的管路有气泡产生时, 表明其可能存在堵塞或严重污染. 此类问题会导致基线漂移、数据重复性差等异常现象. 为优化实验成本效益, 可采用清洗的方式处理吸滤头, 清洗步骤: 首先使用超纯水置换出吸滤头中的残留溶剂, 然后使用 10% 稀硝酸浸泡 30 min 以上, 随后放入超声波清洗仪中进行超声清洗, 超声完成后用超纯水反复冲洗以去除残留的硝酸溶剂, 并用无尘纸轻轻擦拭干净, 最后在 60 $^{\circ}\text{C}$ 下烘干或自然晾干后放置于干净的容器中或上机使用.

(3) 色谱柱梯度冲洗. 液相色谱柱入口筛板孔径

通常仅几微米^[4],用于保留固定相,但却易被流动相或样品中的固体颗粒堵塞。因此,使用者应建立色谱柱使用档案,持续监测并记录流动相及柱压变化。当观察到柱压较以往明显升高或超过色谱柱出厂说明书安全压力上限时,即可基本判断色谱柱存在堵塞或污染。部分色谱柱可通过反向的冲洗方式解决以上问题,但前提是色谱柱说明书明确允许可以反向冲洗,具体流程:将色谱柱出入口反向连接,采用从低到高的梯度流速用流动相进行冲洗(应避免系统压力过高,容易导致仪器故障和色谱柱损坏),将保留在色谱柱入口的固体颗粒物冲出,观察系统压力是否降低和基线噪音是否平整来判断色谱柱梯度冲洗的效果。但需注意:(1)冲洗出入口筛板上的污染物时可能会同时冲出柱头填料,导致柱效降低甚至柱子报废;(2)如果出入口筛板孔径不一致,反向冲洗可能会导致填料漏出和柱效降低;(3)应根据色谱柱说明书选择冲洗溶剂;(4)反向冲洗后需立即恢复正向操作模式(连续反向使用超过 3 次可能会导致柱床松动)。

1.2 基线持续向下

色谱图基线持续向下 [图 3(b)] 是由于系统管路连接不严或系统压力过高导致密封失效造成的检测信号降低^[1]。操作人员需建立系统压力基线档案,当工作压力低于历史均值的 15% 时,有潜在泄漏风险,应依次检查泵出入口、色谱柱出入口、检测器出入口。当系统压力超过部件额定耐压值时,为防止接口密封失效,需立即停机并检查泵密封圈及管路接头状态。若泵压过高,可能是单向阀或在线过滤器堵塞,此时可拆除后放置在干净容器中,使用超纯水在超声波清洗仪中进行清洗。若色谱柱柱压过高,可能是柱头筛板堵塞或填料污染,可尝试反向冲洗或根据色谱柱不同型号的说明书进行填料冲洗。若检测器出入口压力过高,通常是由于检测器出口至废液桶之间存在阻碍,应重点排查排废管路是否弯折或堵塞。

1.3 基线持续向上

色谱图基线持续向上 [图 3(c)],通常是由于 RID 检测器检测池污染、色谱柱污染、平衡不完全造成的检测信号上升。

(1)冲洗 RID 检测池。建立仪器周期性运行制度,若停机超过 72 h 以上,需执行 30 min 的低流速(0.2 mL/min)系统冲洗程序。因为当仪器经长时间

放置后,残留在检测池中的溶剂会结晶或降解并附着在检测池内壁,若再次开启时出现信号值不断上升的现象,应立即进行检测池冲洗处理。具体操作:在“R flow”处于 ON 时,从入口注入 50 mL 丙酮溶解有机残留物,随后用 50 mL 超纯水冲洗置换丙酮,再使用 50 mL 0.1 mol/L 硝酸溶液清除无机沉淀,最后用纯水冲洗至流出液 pH 呈中性。

(2)停用色谱柱的标准化保存规程。长时间停用且未经正确保存的色谱柱,再次使用时柱压通常会高于正常值且缓慢升高,使得基线向上漂移。因此色谱柱长时间停用时(大于 72 h),为避免残留溶剂污染固定相(如钙化的聚苯乙烯/二乙烯基苯填料),应使用含 EDTA-Ca 的水溶剂或 10% 乙醇溶液作为保存溶剂,将色谱柱终端用专用密封堵头进行气密性处理,在 5 °C 冰箱环境内进行保存。对于新出厂的色谱柱,通常需用流动相平衡冲洗 10~20 个柱体积,以 250 mm 长度的色谱柱为例,冲洗时间一般不小于 30 min,待基线平稳即可使用。多次使用的色谱柱,若在该条件下冲洗后基线仍向上漂移,需要考虑填料污染的可能性,以钙化的聚苯乙烯/二乙烯基苯填料色谱柱为例,可采取以下处理步骤:在 85 °C 柱温条件下,以 0.1 mL/min 为增量逐步提高流速,待柱压稳定后再继续增加流速,使用至少 100 mL 质量浓度为 500 mg/L 的 EDTA-Ca 超纯水溶液,以 0.1 mL/min 的流速反冲色谱柱,使钙离子充分平衡,观测检测信号平稳后即可正常使用色谱柱^[5]。

1.4 基线周期性杂峰

色谱图基线出现规律性杂峰 [图 3(d)],该现象可能由以下原因导致:RID 检测器参比池有气泡、六通阀或洗针液污染等。

(1)为提高进样效率,目前较多实验室已采用更加精密且效率高的自动进样器替代传统的手动进样方式。自动进样器核心部件为六通阀,由于品牌型号差异,原理也有所不同。常见的如岛津 SIL-20A 型自动进样器,其工作流程:在待机状态下,流动相由泵输送,依次流经六通阀、定量环、进样针和进样口,随后返回六通阀并进入色谱柱。当触发进样时,六通阀首次切换,进样针穿刺样品瓶,计量泵吸取样品暂存至定量环中。进入样品注入阶段后,进样针插入进样口,六通阀再次切换,此时流动相进入定量环将样品带入到色谱柱中。最后进样针吸取清洗液,依次清洗针座和定量环,完成连续进样工作。

因此,清洗液不洁净是引起周期性杂峰的主要原因^[6]。由于清洗液多为流动相或超纯水,且对基线影响较小,容易被分析人员忽视。然而,若清洗液变质,其中的污染物会随进样过程进入色谱柱,造成污染,并影响检测器的信号值反应。由于进样工作多为连续进行,若已污染会出现周期性杂峰现象,可通过每日更换洗针液排除该问题。

(2)RID 检测器的工作原理基于斯涅耳定律,利用被测组分(样品池)与流动相(参比池)折光指数差异,通过测量两者的折射率差值来实现检测。该检测器具有灵敏度高、稳定好的特点,常用于糖类物质(如麦芽糖、葡萄糖、蔗糖等)的检测。然而,由于其检测原理基于折光指数的差异,因此对流动相和系统中的气泡更为敏感。气泡引起的折射率突变具有非线性响应特征,当参比池气泡体积超过检测池容积的 0.1% 时,会破坏光路的稳定性。当“R flow”关闭时,参比池进出口保持封闭状态,内部充满流动相,此时若参比池存在气泡,在分析样品时会呈现出周期性杂峰^[7]。解决方法:设置泵流速在 1 mL/min 以内,反复开关“R flow”选项(避免过大流速损坏电磁阀),使参比池进出口反复开关,利用流体扰动排除气泡。在后续使用中,应注意将配制好的流动相进行超声脱气处理^[8],并安装在线脱气装置,同时应避免流动相受到阳光直射,尽量减少此类现象的发生。

2 灵敏度低

液相色谱仪在使用一段时间后,可能会出现峰面积过小、检出限升高的情况,从而影响最小检测浓度,这种现象可能是由于仪器灵敏度降低所导致。其原因主要有以下两种:

(1)RID 检测器能量值不足。RID 检测器的光源为钨灯,当检测器频繁使用时,钨灯能量值会有所下降,因此应建立不同浓度下标准样品浓度对应的峰面积档案。例如,原来进样体积 10 μL ,质量浓度为 2.5 g/L 葡萄糖的峰面积为 420 000,使用一段时间后,其峰面积变为 260 000,可以判断为检测器钨灯能量不足。

以 RID-20A 型检测器为例,解决以上问题的具体操作流程:在仪器面板上反复按 FUNC 键,直至屏幕显示为“TOTAL EN”,此能量为照射至二极管上的总光能量,正常范围一般为 6 000~9 000。若数值不在此范围时,需调节“LAMP Volt”使之处

于该范围内,完成调节后重新进行参比池、样品池平衡操作,此时进样分析得到的峰面积较之前有显著提高^[9-10]。

(2)样品量的多少。样品量与峰面积大小呈正比,液相色谱的进样量通常在 5~20 μL 之间,当自动进样器计量泵吸取量不准确时,进样量过多会出现平头峰,这是色谱工作站的采样电压过载导致。进样量过少会使峰面积降低,检出限也会随之变高,检测低浓度样品数据就会不准确^[11]。发生此类情况时,一般为自动进样器计量泵的计量异常,可以在进样针吸取样品操作前后,使用差量法对其进行称重,判断是否为计量泵异常所导致。

3 重复性差

相对标准偏差(RSD)是衡量数据精密度的核心指标,其数值可以直接反映出数据波动幅度的大小^[12-13],可采用日常分析工作中标准曲线的最大浓度标准物质,重复进样 5 次计算 RSD,当 RSD 大于 1% 时,应重新对液相色谱仪进行平衡操作。如若问题仍未得到改善,可以考虑如下操作进行排查。

(1)进样针位置发生偏移。当液相色谱仪进行重复进样操作后,由于其反复接触样品瓶隔垫及进样槽,进样针可能会发生形变,若此时再继续进样,进样针的抬起和插入动作会引起系统压力的波动,从而导致基线不稳。当仪器停止工作后,可以通过自动进样器控制面板调节自动进样针落下的位置,依目前偏离情况移动进样针,使进样针正对校正孔,最后控制进样针下降,直至进样针触碰到校正孔的底部即可完成。当进样针发生严重弯曲时,可考虑摘下进样针手动恢复平直后再进行上述校正操作。

(2)压力不稳。当液相色谱仪系统管路存在气泡时,系统压力会上下波动,直接造成基线忽高忽低进而影响样品峰型^[14-15]。当压力波动时,可先在仪器能直接观察到的流动相以及管路上大致排除气体来源,若不方便直接观察,可以依次断开色谱柱出口、色谱柱入口、泵出口、泵入口的连接,通过观测每次断开后系统压力是否仍在波动判断气体来源。

(3)样品室温度差异大。自动进样器样品室有制冷控温功能,当控温异常时,因热膨胀导致的进样体积偏差会造成取样量不准确、样品变质加速。可以通过观察样品室的样品架放置位置是否有积水,或观察样品瓶中存放的液体是否有过多气泡产生

进而判断制冷功能异常情况. 要避免此类现象产生, 应减少频繁开关自动进样器门, 控制实验室温度适宜且避免阳光直射, 若硬件异常应进行样品室的温

度校准^[16].

表 1 系统总结了 RID 检测器主要故障的诊断特征、处理措施及预防策略.

表 1 RID 检测器故障排除与预防策略
Table 1 Troubleshooting and prevention strategies for RID detector

故障类型	诊断特征	处理措施	预防性维护策略
毛刺状基线	基线大于检定漂移值	更换流动相; 冲洗吸滤头/色谱柱	每日过滤水相(0.22 μm); 定期对耗材进行维护, 并将维护日期及内容填写在仪器使用记录本上
持续向下漂移	系统压力突降>15%	检查接口漏液或阻碍物; 清洗单向阀/在线过滤器	系统压力监控; 定期对耗材进行维护
持续向上漂移	信号持续增长	清洗检测池; 冲洗/更换色谱柱	每月检测池冲洗; 停用色谱柱规范保存
周期性杂峰	固定间隔峰	更换洗针液; 参比池脱气	洗针液每日更换; 平衡阶段多次对参比池进行脱气操作
灵敏度降低	峰面积大幅减少, TOTAL EN<6 000	调节LAMP Volt; 校准进样体积	每次实验时记录检测器灯能量值; 每次实验时对相同浓度标准溶液峰面积进行对比
RSD>1%	数据重复性差	校正进样针位置; 系统脱气	对于不易挥发的样品可采用开口样品瓶隔垫; 排气操作后观测可视管路是否仍存在气泡

4 结论

液相色谱仪 RID 检测器的常见故障排除需构建多级防御体系. 操作人员应具备基础逻辑判断能力, 建议强化操作培训, 减少人为失误. 建立基线噪声、压力波动、标准物质峰面积、仪器系统流路冲洗维护、色谱柱冲洗维护历史数据库. 根据季节变化预设流动相更换频率等故障防御体系. 由于液相色谱仪属于精密仪器, 轻微的系统压力波动都会造成数据的偏差, 因此以操作人员需培养严谨的实验习惯, 如实时关注仪器状态、对异常情况进行及时分析及梳理, 对于已解决的故障案例应记录并分析原因. 通过不断经验积累进而形成完整的解决方案, 有效提升仪器使用效率.

参考文献:

- [1] 李劲松, 何飞飞. HPLC 液相色谱仪器的故障维修与日常养护 [J]. 设备管理与维修, 2023(10): 58-59.
- [2] 陈力. 影响 HPLC 在食品检测中准确性的因素及控制对策 [J]. 食品安全导刊, 2025(3): 131-133. [CHEN Li. Factors affecting the accuracy of HPLC in food detection and control measures [J]. China Food Safety Magazine, 2025(3): 131-133.]
- [3] 李娇, 崔宁峡, 马永良, 等. 食品质量检测中高效液相色谱的应用探讨 [J]. 食品安全导刊, 2025(9): 176-178, 182. [LI Jiao, CUI Ningxia, MA Yongliang, et al.

Exploration of the application of high performance liquid chromatography in food quality inspection [J]. China Food Safety Magazine, 2025(9): 176-178, 182.]

- [4] 刘艺. 分析检测中液相色谱柱的选择及使用维护 [J]. 广东化工, 2023, 50(1): 199-200, 210. [LIU Yi. Selection and maintenance of liquid chromatography columns in analysis and detection [J]. Guangdong Chemical Industry, 2023, 50(1): 199-200, 210.]
- [5] 谢子健. 高效液相色谱仪的常见故障种类及维护 [J]. 天津化工, 2022, 36(3): 80-82.
- [6] 魏博, 蔡玥. Waters e2695 液相色谱仪常见压力故障及维护方法 [J]. 分析测试技术与仪器, 2024, 30(6): 399-405. [WEI Bo, CAI Yue. Pressure faults and maintenance methods for Waters e2695 Liquid Chromatograph [J]. Analysis and Testing Technology and Instruments, 2024, 30(6): 399-405.]
- [7] 谢光华. 高效液相色谱仪的维护及故障排除 [J]. 国外科学仪器, 1986(2): 31-37.
- [8] 马跃, 牛艳来. 高效液相色谱仪的工作原理及日常维护和故障排查 [J]. 实验与分析, 2024(1): 12-16. [MA Yue, NIU Yanlai. The working principle of the high-performance liquid chromatograph and its routine maintenance and troubleshooting [J]. Labor Praxis, 2024(1): 12-16.]
- [9] 龚宁. HPLC-RID 法和 HPLC-ELSD 法测定定义乌红糖中果糖、葡萄糖和蔗糖含量 [J]. 湘潭大学学报 (自然科学版), 2024, 46(6): 98-105. [GONG Ning. Determination of fructose, glucose and sucrose con-

- tent in Yiwu brown sugar by HPLC-RID and HPLC-ELSD methods[J]. Journal of Xiangtan University (Natural Science Edition), 2024, 46(6): 98-105.]
- [10] 张楠. 岛津 LC-20A 高效液相色谱仪泵压异常故障处理 [J]. 设备管理与维修, 2023(6): 79-81.
- [11] 吴昊. 关于液相色谱仪最小检测浓度的分析 [J]. 大众标准化, 2023(13): 180-182.
- [12] 李大伟, 许诚, 张利明, 等. 液相色谱仪计量性能期间核查 [J]. 化学分析计量, 2024, 33(1): 94-99. [LI Dawei, XU Cheng, ZHANG Liming, et al. Intermediate check of metrological performance for liquid chromatographs[J]. Chemical Analysis and Meterage, 2024, 33(1): 94-99.]
- [13] 邱国平, 叶婉莹. 平行双样“相对偏差”计算公式的统一 [J]. 中国计量, 2025(2): 79-84.
- [14] 王国娟, 王珊珊, 管宁. 实验室高效液相色谱仪维护保养及故障原因解析 [J]. 化纤与纺织技术, 2022, 51(2): 112-114.
- [15] 于基广, 徐洪伟, 孙黎明. 探析高效液相色谱仪的典型故障及维护保养 [J]. 山西化工, 2022, 42(5): 62-64. [YU Jiguang, XU Hongwei, SUN Liming. Analysis of typical faults and maintenance of high performance liquid chromatograph[J]. Shanxi Chemical Industry, 2022, 42(5): 62-64.]
- [16] 黄彬磊, 曾宪钰, 李贝琦. 液相色谱仪自动进样器样品室温度的校准 [J]. 化学分析计量, 2023, 32(9): 96-100. [HUANG Binlei, ZENG Xianyu, LI Beiqi. Calibration of sample room temperature for liquid chromatograph autosampler[J]. Chemical Analysis and Meterage, 2023, 32(9): 96-100.]

请速订阅 2026 年《分析测试技术与仪器》

如果您想

了解当代分析测试领域的新进展和新动向

交流分析测试研究的新理论与新成果

开发分析测试研究工作的新技术与新方法

扩展分析测试仪器的新用途与新功能

研制分析测试的新仪器与新组件

.....

请您订阅向国内外公开发行的《分析测试技术与仪器》杂志, 刊号 $\frac{\text{ISSN } 1006-3757}{\text{CN } 62-1123/O6}$, 邮发代号: 54-90, 定价: 15 元/册, 全年定价 90 元. 投稿请与《分析测试技术与仪器》编辑部联系, 联系电话: 0931-4968280, E-mail: fxcs@licp.cas.cn, 网址: <http://www.fxcsjs.cn>, 联系人: 魏丽萍, 地址: 甘肃省兰州市天水中路 18 号, 中国科学院兰州化学物理研究所.