

深低温自动化生物样本存储系统的维护与管理

胡杰杰 杨少磊

东富龙生命科技有限公司

摘要: 本文详细阐述了深低温自动化生物样本存储系统的常见故障类型,并系统地提出了相应的解决策略。针对硬件故障,如制冷系统失效、机械运动故障等;针对软件故障,如控制系统异常、数据传输中断等;以及针对环境因素导致的故障,如温湿度异常等。针对这些常见故障,文章将提出切实可行的解决措施,包括定期的硬件维护和检测、软件的更新和优化、环境的监控等。此外,本文还讨论了预防管理措施,以提高深低温自动化生物样本存储系统的运行稳定性。

关键词: 深低温存储;生物样本;故障类型;预防管理

在生命科学与生物医药研究快速发展的今天,生物样本作为探索生命奥秘、推进医疗创新的基石,其保藏^[1]质量与安全性成为了不容忽视的关键环节。深低温自动化生物样本存储系统,凭借其高效、精准、长期保藏生物样本的能力^[2],已成为现代生物样本库不可或缺的核心设施。然而,随着存储样本量的激增和存储时间的延长,如何确保这一复杂系统的持续稳定运行,以及生物样本的安全无损,成为了亟待解决的重要课题。

本文旨在深入探讨深低温自动化生物样本存储系统的维护与管理策略,通过系统分析该系统在日常运行中可能遭遇的各类故障与挑战,包括硬件故障、软件故障以及环境因素导致的潜在问题,为生物样本库管理者提供一套全面、科学的维护与管理指南。我们将重点阐述如何通过定期的硬件维护与检测、软件的更新与优化^[3]以及环境条件的严格监控等措施,有效预防故障发生,提升系统运行效率与稳定性,从而保障生物样本的长期保藏质量与科研价值,以构建一个安全、

高效、可持续发展的深低温自动化生物样本存储系统,对未来生命科学研究与医疗应用的发展提供有力支撑。

1 深低温自动化生物样本存储系统的重要性

深低温自动化生物样本存储系统在生物样本保藏中具有极其重要的作用,其重要性主要体现在稳定的低温环境、减少温度波动、自动化操作以及多级权限管理方面。

1.1 稳定的低温环境

该系统能够为生物样本提供稳定的低温环境,有效抑制样本中的生化反应,减缓细胞代谢,最大程度地保持样本的原始特性和活性。

1.2 减少温度波动

与传统的手动存储方式相比,深

低温自动化存储系统能通过全程冷链控制,在样本存取过程中,能够最大限度地减少这种温度波动,保护样本免受温度变化带来的损害,不同环境温度条件下的升温速率如表1所示。

1.3 自动化操作

该系统能够减少人工操作带来的误差和安全隐患,实现样本的自动化存取、信息化识别、自动记录和监控,大大提高存储效率,同时提高了样本管理的透明度和可追溯性。

1.4 多级权限管理

系统支持多级权限设置,确保只有获得授权的人员才能访问和操作样本,同时会记录下被授权人员的所有操作,有效防止样本的丢失、泄露或被盗,并在需要时提供追溯文件,深低温自动化生物样本存储系统以及生物样本库信息

表1 不同环境温度条件下升温速率

环境温度条件	升温区间	所耗时间
-100℃	-150℃ ~ -130℃	24 min
-40℃	-150℃ ~ -130℃	7 min
0℃	-150℃ ~ -130℃	5 min
15℃	-150℃ ~ -60℃	200 s

化系统分别如图 1 和图 2 所示。



图 1 深低温自动化生物样本存储系统

2 常见故障类型

2.1 温度异常

温度异常是深低温自动化生物样本存储系统常见的故障之一。导致温度不稳定的原因主要包括制冷系统异常和保温层损坏。制冷系统异常方面，如液氮蒸发器故障、电磁阀开关异常、液氮泄漏等，都可能使制冷效率降低，难以维持稳定的低温环境。保温层损坏方面，例如罐体的真空度失效，则会导致外界热量渗入，扰乱系统内部的温度平衡。此外，温度传感器故障也可能导致温度监测不准确，进而影响系统的温度调节。

2.2 样本存取故障

样本存取故障常表现为机械臂故障和传递通道不畅。机械臂故障可能源于其关节磨损、驱动电动机故障或控制系统指令错误，致使无法准确抓取或放

置样本。传递通道不畅多因通道进出门开关异常或者外部杂质进入通道，阻碍了样本的正常传递。

2.3 液氮供应故障

液氮供应故障对存储系统影响较大，液氮补给不及时，生物样本存储系统无法维持低温环境，生物样本安全性面临巨大挑战。液氮罐故障可能是由于电磁阀故障、密封件老化导致液氮输送量不足或停止，管道泄漏导致液氮无法输送到指定区域，影响存储系统温度。此外，液氮补给罐或液氮塔的不稳定也可能使系统无法及时得到充足的液氮补充。

2.4 控制系统故障

控制系统故障主要由软件和硬件异常引起。软件方面，程序漏洞或版本不兼容可能导致控制指令出错，影响系统的正常运行。硬件方面，硬件老化如电路板老化、元器件性能衰退等，会使控制信号传输异常，导致系统控制失效。

3 故障解决方法

3.1 温度异常解决

为解决温度异常，企业应建立定期检查制冷系统的制度。每次检查需仔细查看液氮蒸发器是否有污垢堆积影响液氮气化，低温电磁阀工作是否正常、有无异常噪声，液氮供应系统的压力和存量是否正常。若发现问题，应及时进

行清理、维修或补充液氮。对于保温层，定期检查其完整性，一旦发现有损坏，应立即进行修复或更换。此外，还需确保温度传感器的准确性，定期校准或更换故障的传感器，以保障温度监测的准确性，从而维持系统内稳定的低温环境。

3.2 样本存取故障排除

对于机械臂，应制定周期性的维护和校准计划。检查关节的润滑情况，及时添加或更换润滑剂，确保其活动顺畅。同时，检测驱动电动机的性能，如发现异常应及时维修或更换。校准机械臂的动作精度，使其能够准确抓取和放置样本。对于传递通道，通道开关需定期进行清理，避免可能出现的开关卡顿和外部杂质进入等情况，保障传递通道的畅通无阻。

3.3 液氮供应故障处理

当液氮罐或液氮管路出现故障时，应迅速安排专业人员进行维修。检查罐体的密封情况，及时更换磨损严重的部件，如密封件等，以确保液氮的正常输送。对于管道泄漏问题，要利用专业的检测设备迅速定位泄漏点，然后进行修复。在日常运行中，也要加强对管道的定期检查，预防泄漏情况的发生。

3.4 控制系统故障修复

针对软件异常，应及时更新控制系统的软件，修复已知的程序漏洞，对于版本不兼容的问题，要及时升级到兼容且稳定的版本。对于硬件老化问题，定期检查电路板和元器件的性能，发现老化或性能衰退的组件，及时进行更换，以保证控制系统稳定可靠，使系统能够正常运行。

4 预防措施

4.1 定期维护与检测

为确保深低温自动化生物样本存储系统的稳定运行，周期性的设备维护计划和检测流程至关重要。首先，应根据设备的使用频率、运行状况和厂家建议，确定维护和检测的周期。例如，对



图 2 生物样本库信息化系统

于关键部件如制冷系统机械运动系统和液氮供应系统，可每季度进行一次全面检查和维护。

在维护过程中，不仅要 对硬件进行清洁、紧固和润滑等常规操作，还要对关键参数进行检测和校准。例如，检查蒸发器的制冷效率、液氮供应系统的工作压力、液氮的流量等，并与标准参数进行对比。对于温度传感器和液位传感器等精密部件，应定期校准，确保其测量数据的准确性。

同时，制定详细的检测流程，运行中，通过监控系统实时关注各项参数的变化，及时发现异常。此外，建立维护和检测的档案，记录每次的操作内容、发现的问题和处理方法，为后续的维护和故障分析提供参考，表 2 所示为周期性维护项目各项参数的变化。

4.2 人员培训

操作人员的技能水平和规范^[5]操作意识直接影响着深低温自动化生物样本存储系统的运行效果和样本的安全。因此，需要定期开展有针对性的培训。

培训内容应包括系统的工作原理、操作流程、常见故障的识别与处理等方面。通过理论讲解和实际操作相结合的方式，让操作人员深入了解系统的运行机制，熟练掌握操作技巧。

同时，强调规范操作的重要性，如样本的存取规范、设备的开关机顺序等。培养操作人员的责任心和 安全意识，使其在工作中始终保持严谨的态度。

为了检验培训效果，可以定期进行考核，对于考核不通过的人员，重新进行培训，直至其能够胜任工作。

此外，还应鼓励操作人员不断学习新知识、新技术，以适应系统的更新和发展。

4.3 环境优化

存储环境的优化对于保证深低温自动化生物样本存储系统的正常运行和样本质量具有重要意义。要确保存储环境符合标准^[6]要求，首先应严格控制温度

和湿度。温度应稳定在设定的低温范围内，湿度应保持在适宜的水平，避免过高或过低对样本和设备造成损害。

加强对存储区域的清洁和消毒工作，定期更换空气过滤器，减少灰尘和微生物的污染。同时，合理规划存储区域的布局，确保通风良好，避免局部温度和湿度的差异。

此外，要对存储环境的各项参数进行实时监测，如温度、湿度、氧浓度等，并建立报警机制。一旦参数超出标准范围，及时发出警报，以便采取相应的措施进行调整。

在环境优化过程中，还应注意节能减排，选择高效节能的设备和优化运行策略，降低系统的能耗和运行成本，表 3 所示为公用工程标准要求。

4.4 应急预案制定

为保障系统正常稳定的运行，可靠

的预警系统是必不可少的，远程预警系统如图 3 所示。设备在未出现异常时，定期提示进行维护保养，设备在出现异常时，第一时间通知到相关人员，便于第一时间响应和处理，避免造成更大的损失。

针对可能出现的严重故障，如制冷系统完全失效、液氮大量泄漏等，制定完善的应急处理方案是 必不可少的。应急方案应明确各部门和人员的职责，确保在故障发生时能够迅速响应，协同作战。

在应急物资方面，应提前储备必要的维修工具、备用部件和液氮等，以满足应急处理的需求。同时，建立与厂家和专业维修团队的快速联络机制，确保在需要时能够及时获得技术支持。

定期开展应急演练，使有关人员熟悉突发事件的应急处理流程、操作方法等

表 2 周期性维护项目

项目名称	每周	每月	半年	年度	两年
液位检查	✓				
液氮供应源检查	✓				
设备外观面清洁		✓			
管路泄漏检查		✓			
液位报警测试			✓		
UPS 电源检查			✓		
电气柜检查				✓	
存储罐体				✓	
常温区电动机检查				✓	
低温区电动机检查				✓	
机械运动系统检查				✓	
液位传感器校准				✓	
温度传感器校准				✓	
电磁阀更换					✓
安全阀更换					✓

表 3 公用工程标准

序号	项目	要求
1	电源	AC 220 V ± 10%，单相，50 Hz ± 2%，10 A
2	液氮供应压力	1.0 bar ~ 1.5 bar
3	氮气排放量	≤ 40m³/h
4	背景环境	CNC 区域
5	背景湿度	40% ~ 60 %
6	背景温度	18℃ ~ 26℃

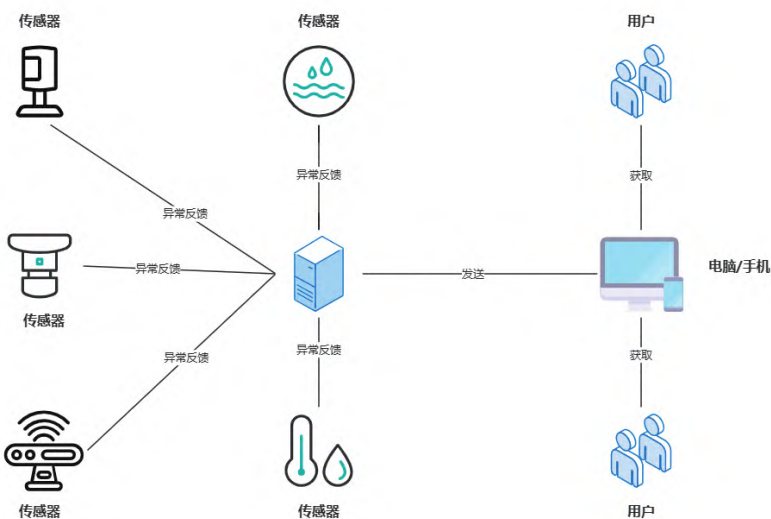


图3 远程预警系统

了如指掌,提高应对能力。演练结束后,对应急预案进行评估完善,使应急预案的实效性、可操作性不断提高。

此外,还应制定应急情况下样本的转移和保护方案,确保样本的安全不受影响。

5 结论

5.1 总结常见故障及解决方法

深低温自动化生物样本存储系统常见的故障^[4]包括温度异常、样本存取故障、液氮供应故障、控制系统故障。针对温度异常,需定期检查制冷系统、保温层和温度传感器;对于样本存取故障,要对机械臂进行周期性维护校准,传递通道开关确认;液氮供应故障则要及时维修液氮供应系统,检测并修复管道泄漏;控制系统故障需更新软件、升级版本、更换老化硬件。

5.2 对未来的展望

展望未来,深低温自动化生物样本存储系统正迈向智能化与可靠性的新纪元。通过引入更先进的传感器和监测技术,实现对样本状态和设备运行的实时、精准监控,有效预见并预防潜在故障,确保样本安全无虞。在节能和环保方面,不断优化系统设计,力求降低能耗,最大限度地减轻对环

境的负担。同时,随着材料科学的发展,采用更高性能的保温和制冷系统,进一步提高系统的稳定性和可靠性,将能效提升至全新高度。此外,存储系统将更加注重用户体验,界面友好、操作便捷且高度人性化,以适应日益多样化的样本存储需求。

我们相信在技术不断创新的驱动下,深低温自动化生物样本存储系统将成为生物医学研究不可或缺的强大后盾,为生命科学的蓬勃发展注入源源不断的动力。

参考文献:

- [1] ISO 20387:2018 标准《生物技术—生物样本保藏—生物样本库通用要求》。
- [2] GB/T 37864-2019 《生物样本库质量和能力通用要求》。
- [3] 张雪莹,朱承超.自动化生物样本库建设与信息化管理[J].海军医学杂志,2023(4).
- [4] 朱璐,廖苗.生物样本库数据采集的问题及其治理思路[J].国际公关,2023(21).
- [5] GB/T 39766-2021 《人类生物样本库管理规范》。
- [6] GB/T 42466-2023 《生物样本库多能干细胞管理技术规范》。



上海意发玛制药设备有限公司

E-PHARMA (SHANGHAI) PHARMACEUTICAL EQUIPMENT CO., LTD



We are **E-Pharma**
sanitary heat exchanger
supplier

我们是 **意发玛**
卫生级换热器提供商

Your good **Partner**
良好的 **合作伙伴**

Specialized, Focus, Try for the Best
专业、专注、精益求精



Web: www.epharmatech.com
E-mail: info@epharmatech.com
Tel: +86-21-32503721 32503722
No.39, Xinjin Road Qingpu District, Shanghai, PRC
中国·上海市青浦区新金路39号

广告