

[制造·使用·改进]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2022.05.013

SBS 排布冻存管自动开关盖机设计

杨增帅, 谢松华*, 赵国庆, 谢康明, 罗 沉, 胡光辉, 朱瑞敏

(上海电气慧程智能系统有限公司, 上海 201615)

摘 要:实验室大批量使用冻存管时采用人工操作方式,存在操作繁琐,易污染样本等问题,课题组研制了 SBS 分布冻存管整板自动开关盖的设备。采用模块化设计思想,设计了自动开关盖机的机械组件,包括开关盖组件和扭矩控制离合器组件等;设计了基于 TMCM-3351-TMCL 芯片的控制系统;最后通过试验进行设备优化。结果表明该自动开关盖机平均开盖时间为每板 15.8 s,平均关盖时间为每板 28.4 s。设计的自动开关盖机能有效降低操作人员的劳动强度,提高工作效率。

关 键 词:冻存管;开关盖机;模块化设计;SBS 板架

中图分类号:TH69

文献标志码:A

文章编号:1005-2895(2022)05-0086-05

Design of Automatic Switching Caps Machine for SBS Arrangement Cryopreservation Tubes

YANG Zengshuai, XIE Songhua*, ZHAO Guoqing, XIE Kangming,
LUO Chen, HU Guanghui, ZHU Ruimin

(Shanghai Electric Huicheng Intelligent System Co., Ltd., Shanghai 201615, China)

Abstract: In view of the manual operation during the laboratory use of cryopreservation tubes in large quantities, there are problems such as cumbersome operation and easy contamination during the operation. The equipment was designed for automatic cap unscrewing and screwing in the whole plates of SBS distribution cryopreservation tubes. Using modular design ideas, the mechanical components of the automatic switching caps machine was designed, including the switch cover assembly and the torque control clutch assembly, etc., and the control system based on the TMCM-3351-TMCL chip was designed. The equipment was optimized by through experiments. The results show that the average cap unscrewing time and screwing time is 15.8 seconds per plate and 28.4 seconds per plate respectively. The designed automatic switching caps machine can effectively reduce the labor intensity of the operator and improve the work efficiency.

Keywords: cryopreservation tube; switch cap machine; modular design; SBS plate holder

冻存管是一种保存生物样本的常用器皿,其消耗量巨大且卫生要求高。冻存管通常采用有螺纹的旋盖来进行密封。冻存管开关盖前后一般都按要求放置在标准排布的板架中,因此冻存管开关盖成为一项非常枯燥和繁琐的工作,并且人工拧紧还存在样本污染、气

溶胶传播等风险。随着医学研究对生物样本的收集、保存和应用的需求日益增加,高质量大规模生物样本库得到逐步推广,在生物样本库中,往往要一次性处理大量的生物样本。冻存管的批量自动开关盖作业也成为了关键一环^{[1]3,[2-4]}。

收稿日期:2022-02-28;修回日期:2022-07-08

专利项目:赵国庆,谢松华,谢康明,等. 用于冻存管智能集中开关盖装置(CN112573456A)。

第一作者简介:杨增帅(1992),男,河南项城人,硕士,工程师,主要研究方向为包装工艺及设备。通信作者:谢松华(1992),男,安徽蚌埠人,工程师,主要研究方向实验室自动化设计。E-mail:xiesh@shanghai-electric.com

1 研究对象分析

美国分子生物科学协会(SBS)的标准冻存管是被广泛应用的产品之一。目前市场上广泛应用的冻存管主要有内旋盖和外旋盖冻存管,容量为 0.5 ~ 15.0 mL。冻存管需放置在板架内,其中,96 孔板架上每个孔距为 9 mm,按 8 行 × 12 列方式排列。其他规格板架参考该间距进行整倍数的放大或缩小,均称为 SBS 标准排布^[5]。

1.1 冻存管的形态分析

课题组以 0.75 mL 内旋盖冻存管、标准 96 孔 SBS 板架为研究对象。图 1 为 0.75 mL 内旋盖冻存管,主要由管盖、密封圈、管体和套壳 4 部分组成。管盖设有八芒星形状空腔,方便自动化开关盖;管体呈圆锥体,套壳镂空设计,方便观察液面高度,非镂空部分设条形码,底部锥体处设置 4 条筋条,底面设二维码。主要特征尺寸为: $L_1 = 35.5$ mm, $L_2 = 27$ mm, $L_3 = 14.2$ mm, $L_4 = 6.5$ mm, $D_1 = 8.5$ mm, $D_2 = 5.5$ mm。

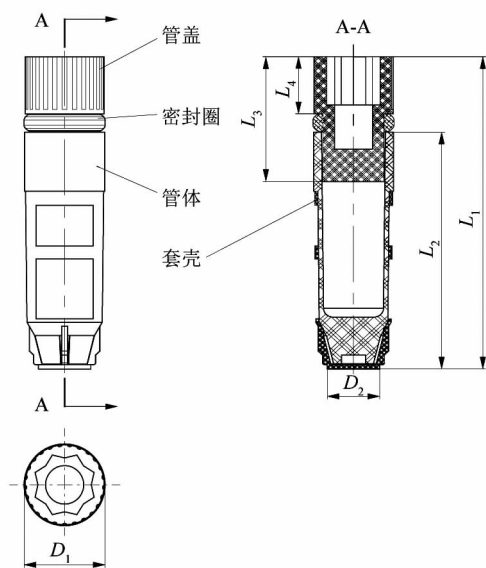


图 1 冻存管结构示意图

Figure 1 Cryopreservation tube

1.2 标准 96 孔 SBS 板架的形态

96 孔 SBS 板架主要参数为 $L \times W \times H = 127.76$ mm × 85.48 mm × 19.05 mm;孔排列数量为 96 (8 × 12) 个;相邻孔间距为 $P \times P = 9$ mm × 9 mm。孔的底部有 4 个筋条,可限制冻存管的转动。

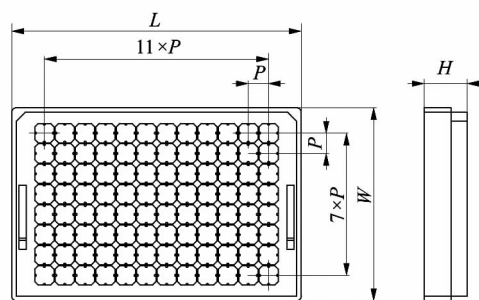


图 2 标准 96 孔 SBS 板架结构

Figure 2 Standard 96-well SBS plate holder construction

1.3 应用场景分析

冻存管常用于血液和尿液等样本的分装存储,样本自收集到使用结束的整个生命周期一般包括前处理、检测、后处理、物流管理和垃圾处理。在前处理和后处理的过程中均需开启和闭合盖子。在开启和闭合盖子时,为避免人为因素造成的样本污染和交叉污染,保证开关盖效率,需减少样本前处理与后处理时间。

2 开关盖机总体设计

2.1 设计要求

根据实际应用场景的工艺需求,开关盖机应满足以下设计要求:

- 1) SBS 板架上所有冻存管同时开关盖。
- 2) 在执行关盖操作时,管盖需要旋回原管体。同一批冻存管规格相同,管盖具有互换性,为避免样本的交叉污染,管盖必须旋回原管体。
- 3) 开关盖效率尽量的高。
- 4) 发生错误时,须有报警。
- 5) 关盖需要保证冻存管完全密封。即保证冻存管盖旋紧的力矩一致且可以控制。
- 6) 兼容人机交互与自动化需求。

2.2 工作流程

开关盖机开盖动作过程:给料—定位—信息确认—开盖—转移板架。开关盖机关盖动作过程:移回板架—定位—信息确认—关盖—转移板架。在开盖过程结束后,管盖将一直悬挂保存在开盖机中,保证开关盖机下一步只能继续进行关盖操作。

2.3 基本方案设计

开关盖机主要有托板组件、开关盖组件、推盖板组

件、框架与外壳及交互与控制系统等。

托板组件仅设上下料工位和开关盖工位。开盖操作时,托板组件从开关盖机中伸出到上下料工位,将96孔SBS板架放置在开关盖机的托板组件中。托板组件收回到开关盖工位,开关盖组件开始工作,将管盖旋开,并悬挂。托板组件将开完盖的板架送出到上下料工位。将板架转移到其他设备中进行操作(例如液体工作站)。关盖操作时,将板架重新放回托板组件,托板组件将待关盖的板架送回开关盖工位,开关盖组件与推盖板组件配合执行关盖任务,托板组件将关盖的板架送回上下料工位,待取走板架后,托板组件复位到开盖机内部。开关盖机内部结构如图3所示。

开关盖机设置触摸屏,显示工作状态,报警信息等,实现人工控制;设置通信接口,方便自动化线的搭建。

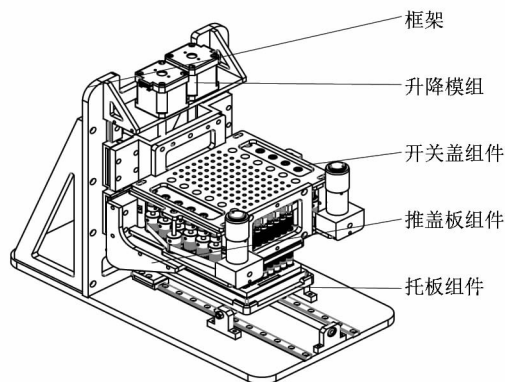


图3 开关盖机内部结构示意图

Figure 3 Internal structure of switching caps machine

3 关键组件设计

3.1 开关盖组件

开关盖组件主要包括:动力源、传动机构(离合器组件、张紧机构)和批头,整个开关盖组件在升降模组的驱动下完成上下位移。当开盖时,开关盖组件下降,在批头插入冻存管盖时,先顺时针转 30° ,确保每个批头都能可靠地插入管盖内。再逆时针旋开冻存管盖。开盖结束后系统进行检测,96个管盖是否全部开启,如有异常系统会报警。开关盖组件结构示意图如图4所示。

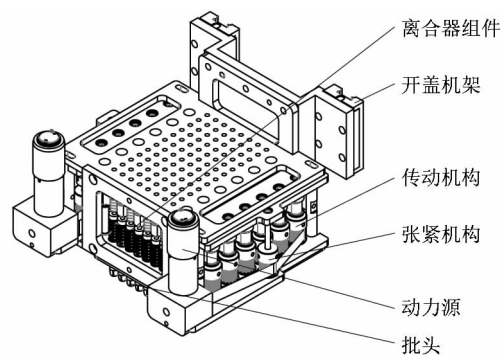


图4 开关盖组件结构示意图

Figure 4 Structure of switching caps assembly

关盖操作时:携带冻存管管盖的批头跟随升降模组在电机驱动下缓缓下降,管盖接触管体时,动力源提供动力,通过离合器组件旋紧管盖盖子。由于此时管盖还通过八芒星形状空腔与批头连接在一起,然后推盖板组件下压,批头跟随升降模组上升,使冻存管脱离批头保持在板架中^{[1]6-7}。

3.2 扭矩控制离合器

扭矩控制离合器是开盖和关盖过程的重要部件。当关盖时,若扭力太小,冻存管密封不严,若扭力太大,会损坏冻存管。如图5所示,扭矩控制离合器包含转轴、同步轮、弹簧座、弹簧、棘轮等。棘轮的棘齿一面是斜面、另一面是垂直面。开盖时,棘齿的垂直面与受力方向垂直,可为开盖提供足够的扭力。当关盖时,棘齿的斜面与受力方向是倾斜的,在弹簧的作用下,盖子拧紧之后棘轮跳齿,限制了传递的扭力最大值^{[1]4}。

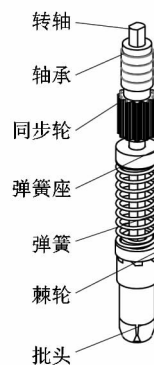


图5 离合器结构

Figure 5 Structure of clutch

3.3 控制系统设计

开关盖机控制系统基于 Trinamic 公司的 TCM-

3351-TMCL 电机控制芯片,步科 GR070E 触摸屏,鸣志步进电机及空心杯电机(下文简称电机)等,开关盖机控制系统结构框图^[6-10]如图 6 所示。控制芯片作为信息处理中心,与电机、触摸屏信息交互,接收传感器信号(位置、力矩和温湿度等信息),向蜂鸣器/指示灯输出警报信息。通过触摸屏实现人机交互,通过预留的通信接口,可实现与自动化线的集成,预留通信接口通过触摸屏外接。开盖流程控制如图 7 所示,开盖各动作时间分配如表 1 所示,关盖流程控制如图 8 所示,关盖各动作时间分配如表 2 所示。

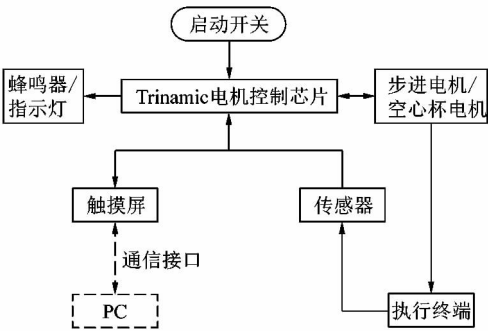


图 6 开关盖机控制系统结构框图
Figure 6 Control system of switching caps machine

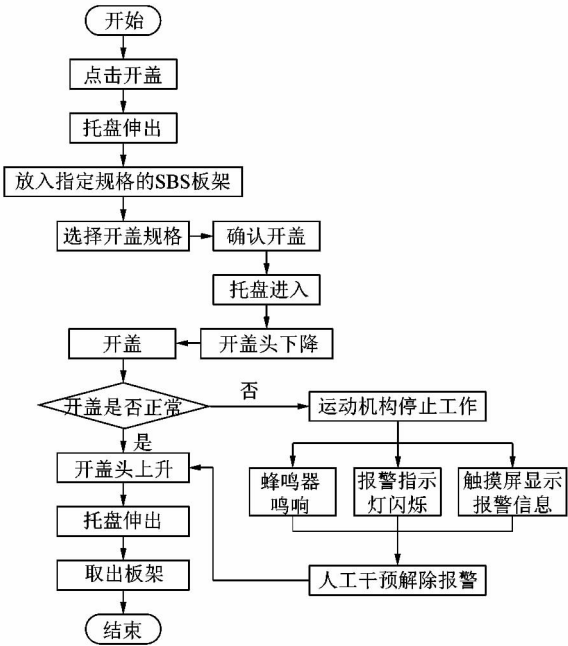


图 7 开关盖机开盖框图
Figure 7 Flow of unscrewing caps

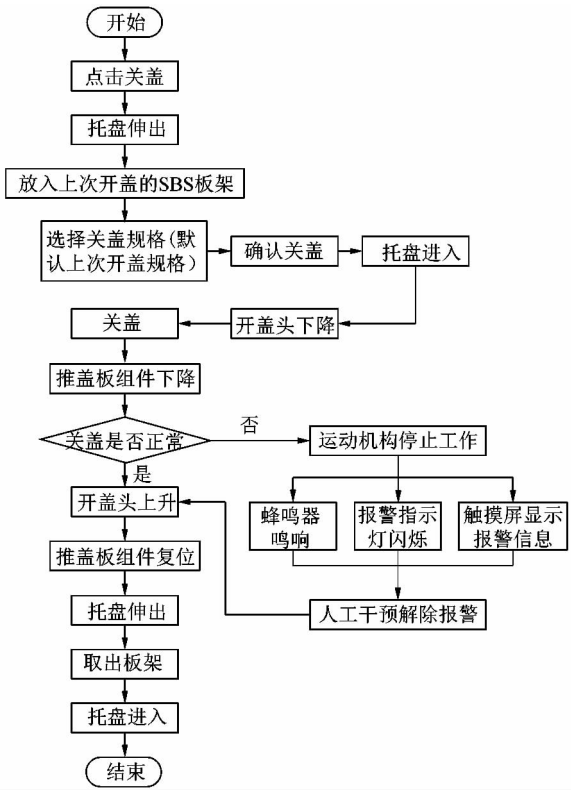


图 8 开关盖机关盖框图
Figure 8 Flow of screwing caps

表 1 开盖动作时间分配表

Table 1 Action-time allocation in unscrewing caps flow

序号	动作	时间/s
1	点击开盖	1.00
2	托盘伸出	1.00
3	放入指定规格的 SBS 板架	3.00
4	选择开盖规格	1.00
5	确认开盖	1.00
6	托盘进入	1.00
7	开盖头下降	1.00
8	开盖	3.00
9	开盖头上升	1.00
10	托盘伸出	1.00
11	取出板架	3.00

表 2 关盖动作时间分配表

Table 2 Action-time allocation in screwing caps flow

序号	动作	时间/s	序号	动作	时间/s
1	点击关盖	1.00	8	关盖	5.00
2	托盘伸出	1.00	9	推盖板组件下降	2.00
3	放入上次开盖的 SBS 板架	3.00	10	开盖头上升	2.00
4	选择板架规格	1.00	11	推盖板组件复位	2.00
5	确认关盖	1.00	12	托盘伸出	2.00
6	托盘进入	2.00	13	取出板架	3.00
7	开盖头下降	2.00	14	托盘进入	1.00

4 开关盖试验与分析

本机作为研发产品经过基本测试后,进行了4组试验,结果如表3所示。

表3 试验记录表
Table 3 Testing record

开关盖组数	试验次数	成功次数	成功率/%
1	115	102	88.70
2	100	98	98.00
3	100	100	100.00
4	100	100	100.00

第1组试验共进行了115次开、关操作,发现出现13次死机现象,每次死机均在开盖动作启动的瞬间;在失败的13次试验中,还有2次出现了1只冻存管未开盖成功的现象。这2只未成功开盖的冻存管处于板架不同位置。经分析,出现死机现象原因为电气控制器运行需要一定的时间,而操作人员点击屏幕过快,导致系统不能及时响应。冻存管未开盖成功的原因有2个:①扭矩离合器加工精度不够,需要一定的磨合期;②因为经过长时间开、关盖,使个别冻存管或板架底部发生磨损。

重新对控制程序进行编制,检查并更换合格的扭矩离合器、冻存管和板架后进行第2组试验。连续98次开、关盖无运行差错;2次出现有1个冻存管未开盖成功现象,这2次是处于同一位置的同一个冻存管,经更换冻存管后,故障排除。

第3组连续100次开、关盖无运行差错;开、关盖成功率为100%。

第4组连续100次开、关盖无运行差错;开、关盖成功率为100%。统计得,平均开盖运行时间为每板15.8 s,平均关盖运行时间为每板28.4 s。

5 结语

课题组通过分析0.75 mL冻存管以及标准96孔

SBS板架的外形特征以及结构特点,结合应用场景给定开关盖机的设计要求,设计一种冻存管的开关盖方案,并进行了一系列的试验进行功能验证与优化。结果表明:设计符合预期,平均开盖运行时间为每板15.8 s,平均关盖运行速度时间为每板28.4 s,极大减轻了人工劳动强度。并在实际应用中取得了较好的使用效果。

另外,相较于目前市面上国外先进的同类型设备,该开盖机的工作效率和稳定性与之不相上下。课题组设计的开关盖机很好地兼顾了手动操作与自动化操作模式,具有广阔的市场前景。下一步,将对该开关盖机的开关盖组件进行优化,以兼容更多规格的冻存管及分布方式。

参考文献:

- [1] 赵国庆,谢松华,谢康明,等.用于冻存管智能集中开关盖装置:CN215048544U[P].2021-12-07.
- [2] 张姗姗,彭宏威,邹聪,等.底部预置二维码冻存管在生物样本存储中的应用方法[J].中国医药生物技术,2021,16(1):73-77.
- [3] 孙成信.国产自动化实验室流水线产品未来发展和技术预测[J].临床检验杂志(电子版),2020,9(1):249.
- [4] 白晓亮,崔石,姜大伟.生化样本前处理系统中样本容器自动开盖装置设计[J].中国医学装备,2017,14(2):1-4.
- [5] ANSI. For Microplates-Well Positions: ANSI/SLAS 4—2004[S]. Oak Brook: Society for Laboratory Automation and Screening, 2004:8.
- [6] 季俊,蔡锦达.基于STM32的制管机器人界面系统[J].轻工机械,2020,38(6):68-71.
- [7] 许露,陆佳平.移液器吸头自动装盒方案设计[J].包装与食品机械,2019,37(2):43-46.
- [8] 万娟,张莉,张冰洋,等.基于TMC6110和LabVIEW的全自动酶联免疫前处理仪的设计[J].制造业自动化,2016,38(10):1-6.
- [9] 段文军,屠凤莲,徐国宝,等.高腐蚀性物料全自动包装设备的设计[J].包装与食品机械,2019,37(6):46-50.
- [10] 张巍,骆昕,林家春.基于PLC的标准布氏硬度机的自动控制系统[J].机电工程,2020,37(2):211-215.