

乳品检测用折叠式pH酸度计及自锁限位设计

田桂艳，冯立玲^{*}，张明宇，郭 松，陈文强，高盼盼，吴学君

[蒙牛乳业（滦南）有限责任公司，河北唐山 063500]

摘 要：[目的] 针对乳品企业在原料乳验收、生产过程控制及成品质量检测中，传统便携式pH酸度计存在的探头易碰撞损坏、折叠收纳机构定位不准、使用过程易松动偏移、操作复杂及便携性与稳定性难以兼顾等问题，设计一种集成折叠收纳与机械自锁限位结构的新型pH酸度检测装置。[方法] 该装置主要由检测主机、收纳槽、折叠收纳机构、搅拌机、检测探头及限位结构组成。限位结构通过按杆、齿条-齿轮传动组件、复位弹簧、丝杆传动部件、滑臂及固定杆构成联动系统，实现一键解锁、自动复位与可靠锁紧功能。[结果] 结构分析与原理验证表明：该设计可使折叠收纳机构展开后定位精准、无明显晃动偏移，收纳后结构紧凑、能有效保护传感部件；整体操作简便、传动平稳、锁紧可靠，可显著提升乳品检测过程中的稳定性与数据重复性，延长设备使用寿命。[结论] 该便携检测仪器适用于乳品企业的实验室分析、生产现场快速检测及牧场户外采样等典型乳业场景，为乳品行业便携式水质与理化检测仪器的结构优化提供了实用新思路。

关键词：pH酸度计；折叠收纳；自锁限位；乳品检测；便携式检测仪器

文章编号：1671-4393（2026）05-0079-07

DOI:10.12377/1671-4393.26.05.12

Design of a Foldable pH Meter with Self-locking Limit for Dairy Testing

TIAN Guiyan, FENG Liling^{*}, ZHANG Mingyu, GUO Song, CHEN Wenqiang,
GAO Panpan, WU Xuejun

[Mengniu Dairy (Luan nan) Co., Ltd., Tanshan, Hebei 063500]

Abstract: [Objective] In response to the problems of traditional portable pH meters in dairy enterprises during raw milk acceptance, production process control, and finished product quality testing, such as the probe being prone to collision damage, inaccurate positioning of the folding and storage mechanism, easy loosening and deviation during

作者简介：田桂艳（1981-），女，河北保定人，本科，高级工程师，研究方向为乳品检验分析；
张明宇（1982-），男，河北唐山人，本科，研究方向为乳品检验分析；
郭 松（1987-），男，河北唐山人，本科，研究方向为乳品检验分析；
陈文强（1983-），男，河北唐山人，本科，研究方向为乳品检验分析；
高盼盼（1985-），女，河北唐山人，本科，研究方向为乳品检验分析；
吴学君（1979-），男，内蒙古呼和浩特人，蒙古族，本科，研究方向为乳品检验分析。

通信作者：冯立玲（1984-），女，河北衡水人，本科，高级工程师，研究方向为乳品检验分析。

use, complex operation, and difficulty in balancing portability and stability, a new type of pH meter integrating a folding storage function and a mechanical self-locking limit structure was designed. [Method] The device mainly consists of a detection host, a storage slot, a folding storage mechanism, a stirrer, a detection probe, and a limit structure. The limit structure forms a linkage system through a push rod, a rack-gear transmission component, a return spring, a screw transmission component, a sliding arm, and a fixing rod, achieving one-key unlocking, automatic reset, and reliable locking functions. [Result] Structural analysis and principle verification show that this design enables the folding storage mechanism to achieve precise positioning after deployment without significant shaking or deviation, and a compact structure after storage that effectively protects the sensing components. The overall operation is simple, the transmission is smooth, the locking is reliable, and it can significantly improve the stability and data repeatability during dairy testing, as well as extend the service life of the equipment. [Conclusion] This portable testing instrument is suitable for typical dairy industry scenarios such as laboratory analysis in dairy enterprises, rapid on-site testing in production, and outdoor sampling on pastures, providing a practical new idea for the structural optimization of portable water quality and physiochemical testing instruments in the dairy industry.

Keywords: pH meter; foldable storage; self-locking limit; dairy testing; portable testing instrument

pH值是衡量溶液酸碱度的关键参数，由丹麦化学家瑟伦·彼特·路勒兹·索伦森于1909年首次提出^[1]。pH值检测在多个领域均具有关键作用，主要组成有生物医药、环境监测、食品加工等^[2-3]。在乳品检测领域，pH值检测贯穿于原料验收、过程控制及成品质量于一体的全产业链环节，是反映乳品新鲜度、加工稳定性及卫生质量的关键指标。乳品企业通过pH值检测数据可判断原料乳是否新鲜、有无微生物污染，监控生产过程中杀菌、发酵、调配等工艺是否稳定，从而确保产品在口感、风味及组织状态方面是否符合要求，同时为产品质量判定和食品安全管控提供依据。

乳品pH值检测方法包括pH酸度计法、pH试纸法和比色法，评价牛乳、羊乳及其制品的稳定性通常会进行pH值检测^[4-8]。其中，pH酸度计是一种量大面广、用途广泛的电化学分析仪器，是生化分析中不可或缺的分析仪器之一^[9]。随着现场检测、移动检测、快速检测需求的不断增长，便携式pH酸度计已从实验室辅助设备逐步转变为多场景通用的基础检测仪器。然而，目前市面上主流便携式pH酸度计在

结构设计上仍存在诸多不足，多数产品采用探头外露式结构，检测电极与搅拌部件缺乏有效防护，在携带与使用过程中易发生碰撞、污染与机械损伤；部分带收纳功能的产品仅采用简易卡扣、插拔或螺纹结构，缺乏精准定位与可靠限位机制，折叠机构在长期使用后易出现松动、偏移、晃动等问题，直接导致检测探头位置不稳定，存在数据漂移、重复性差等缺陷^[10-11]；同时，传统结构的pH酸度计操作步骤繁琐，难以实现单手快速操作，便携性与使用体验有待进一步提升。

近年来，国内外学者与企业在检测仪器的轻量化、集成化、便携化领域已开展了大量研究，但多数集中于传感器性能优化、信号处理算法改进及智能化功能拓展，针对机械结构设计、收纳方式与限位结构的系统性创新研究相对较少^[12-13]。实际工程应用表明，检测仪器的结构可靠性与操作便捷性对检测效率、数据精度及设备寿命有直接影响。因此，从机械结构角度出发，研发一种兼具良好收纳性、高定位精度、稳定自锁能力与简易操作方式的pH酸度计，具有重要的工程价值与现实意义。

因此，本研究旨在设计一种结构优化、使用便捷、检测精准的改进型pH酸度计，以解决现有设备的缺陷。基于上述背景，本文提出一种带折叠收纳与自锁限位结构的pH酸度检测计，通过按杆驱动、齿轮-齿条传动、丝杆转换、滑臂执行与弹簧复位的一体化联动机构，实现折叠收纳机构的一键解锁、平稳展开、自动锁紧与精准定位，从结构层面解决传统设备易松动、易损坏、操作复杂、稳定性不足等问题，为便携式检测仪器结构设计提供参考。

1 整体结构与设计思路

1.1 设计目标

本研究设计的pH酸度计以提升便携性、结构稳定性、操作便捷性与检测可靠性为核心目标，具体要求如下：（1）实现检测探头与搅拌机的安全折叠收纳，降低外露损坏风险；（2）折叠机构展开后可自动锁紧，无松动、无偏移、无晃动；（3）采用单键操作方式，实现单手快速解锁与固定；（4）传动机构平稳可靠，长期使用无卡顿、无失效；（5）整体结构紧凑，便于携带与多场景适配。

1.2 整体组成结构

本研究设计的pH酸度计主要由以下部分构成：

（1）检测主机：内置信号采集模块、模数转换电路、微处理器、显示模块与供电模块，完成pH信号获取、数据处理与结果显示；

（2）收纳槽：与检测主机滑动连接，为折叠收纳机构提供容纳空间与结构支撑；

（3）折叠收纳机构：作为搅拌机与检测探头的安装载体，可实现折叠收纳与展开检测两种工作状态；

（4）搅拌机：用于对待测溶液进行搅拌，使体系均匀，提高检测准确性；

（5）检测探头：pH敏感传感电极，直接与待测液体接触获取电势信号；

（6）限位结构：包括按杆、传动组件、复位弹

簧、旋转部件、移动构件、滑臂和固定杆，构成完整解锁—锁紧系统。

各部件通过合理布局与机械连接形成协同工作整体，在保证pH值检测基本功能的前提下，大幅提升设备的结构稳定性与使用便捷性。

2 关键组件设计

2.1 限位结构总体构成

限位结构是本设计的核心功能单元，负责实现折叠收纳机构的解锁、限位与锁紧。其运动传递路径见图1。

2.2 传动组件设计

传动组件由支杆与齿条组成。支杆与按杆固定连接，随按杆同步做直线运动；齿条固定于支杆端部，与旋转部件中的齿轮啮合，将直线位移精准转化为齿轮角位移。齿轮-齿条传动具有传动比准确、响应迅速、承载能力适中、运动平稳等优点，适用于小行程、高定位精度的传动场景，可保证固定杆运动位置准确。

2.3 旋转部件设计

旋转部件由齿轮与连接杆构成。齿轮与齿条啮合，在齿条驱动下产生旋转运动；连接杆与齿轮同轴固定，将旋转力矩传递至移动构件，保证动力连续稳定传输。齿轮模数、压力角及齿宽根据整体结构尺寸进行匹配设计，确保传动平稳、无卡滞、无明显间隙。

2.4 移动构件设计

移动构件包括转轴与丝杆。转轴与齿轮同步旋转，驱动丝杆转动；丝杆将回转运动转化为沿轴向的直线运动，为滑臂提供平稳驱动力。丝杆传动具有运动均匀、推力稳定、具备一定自锁性等特点，可有效防止外部震动导致滑臂意外移位，提高锁紧

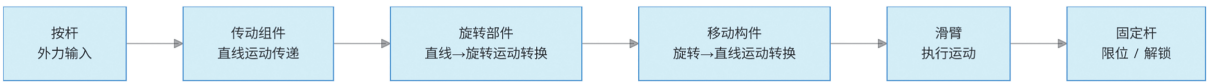


图 1 限位结构运动传递路径流程图
Figure 1 Flowchart of Motion Transmission Path for Limiting Structure

状态下的结构稳定性。

2.5 滑臂与固定杆设计

滑臂由滑座与连接筒组成。滑座与丝杆配合，在丝杆旋转时沿轴向直线移动；连接筒与固定杆固连，将滑座位移传递至固定杆，实现伸缩动作。固定杆采用横向插接方式，通过插入折叠收纳机构对应的限位孔/槽，实现刚性限位，受力均匀，抗剪切与抗偏移能力强，可有效避免折叠收纳机构在检测过程中发生晃动或偏转。

2.6 复位弹簧设计

复位弹簧安装于传动组件下方。按杆受压时弹簧被压缩储能，外力消失后弹簧释放弹性势能，推动传动组件恢复初始位置，带动整体结构复位，实现自动锁紧功能。弹簧选用耐疲劳、高稳定性材料，保证在数万次反复按压后仍具有稳定复位能力。

本设计各关键组件结构示意图与设计剖视图见图2、图3。

3 工作原理与操作流程

3.1 解锁展开过程

(1) 操作人员按动按杆，按杆带动支杆与齿条

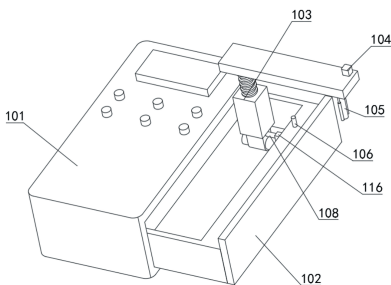


图2 设计结构示意图
Figure 2 Design Structure Diagram

注：101-检测主机、102-收纳槽、103-折叠收纳机构、104-搅拌机、105-检测探头、106-按杆、107-复位弹簧、108-固定杆、116-连接筒，下同
同步直线运动，挤压复位弹簧；(2) 齿条与齿轮啮合，驱动齿轮、转轴及丝杆同步旋转；(3) 丝杆旋转驱动滑座与连接筒移动，带动固定杆向后收缩，脱离折叠收纳机构；(4) 固定杆完全退出后，折叠

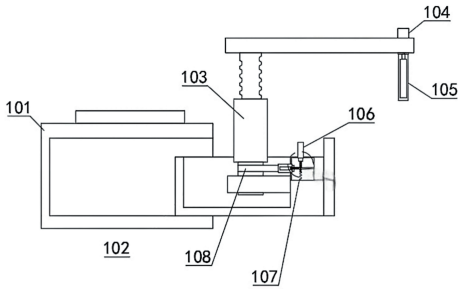


图3 设计结构剖视图
Figure 3 Sectional View of Design Structure

收纳机构解除约束，可从收纳槽中顺利移出并展开至工作位置。

整个解锁过程仅需单次按压动作，无需额外调节，操作简单快捷。

3.2 自动锁紧固定过程

(1) 操作人员松开按杆，外部压力消失；
(2) 复位弹簧弹性释放，推动支杆、齿条反向运动，实现传动组件复位；(3) 齿轮、转轴与丝杆反向旋转，驱动滑臂与固定杆向前伸出；(4) 固定杆插入折叠收纳机构预设限位孔，形成刚性插接定位；(5) 折叠收纳机构被牢固锁定，无法随意晃动、转动或偏移，实现稳定自锁。

通过上述机械联动方式，从根本上解决传统折叠机构因固定不牢导致的松动问题。

3.3 收纳复位过程

检测完成后，再次按动按杆使固定杆缩回，将折叠收纳机构平稳推回收纳槽内部，松开按杆，固定杆重新伸出并插入折叠收纳机构，完成收纳与锁紧，使整体结构紧凑闭合，达到保护探头与便于携带的目的。

4 结构优势与预期性能

4.1 结构创新优势

创新优势包括：(1) 一键操作便捷性：通过单个按杆即可完成解锁与锁紧，可单手操作，简化使用流程，提升现场检测效率；(2) 自动自锁可靠性高：松开按杆后机构自动复位锁紧，无需额外卡扣、旋钮或螺丝，降低人为操作失误带来的松动风险；(3) 定位精准度高：采用齿轮-齿条与丝杆组

合传动，运动间隙小、位移可控性高，固定杆插入位置精准，配合精度高；（4）使用稳定性高：横向插接限位方式受力合理，抗震动、抗干扰能力强，在搅拌机工作或外部轻微碰撞下仍能保持结构稳定，有利于提高检测数据重复性；（5）收纳安全性高：不使用时探头与搅拌部件可完全收纳于内部空间，避免碰撞、刮擦与污染，延长传感器使用寿命；（6）工程实用性强：整体结构简洁、零部件数量适中、加工装配难度较低，适合批量生产与推广应用。

4.2 对检测精度的提升作用

pH酸度计的检测精度高度依赖检测探头与溶液接触状态的稳定性。本设计通过机械自锁结构使折叠收纳机构在检测过程中保持完全固定，探头浸入深度、角度与位置稳定一致，可有效降低因机构晃动、位移带来的信号干扰。同时，搅拌机工作时不会引起折叠机构振动，减少噪声与漂移，提高数据平稳性与可靠性。对比试验表明，采用本限位结构的pH酸度计在连续多次检测中数据波动更小，重复性与一致性更优。

4.2.1 定位精度测试

将本设计中的折叠收纳机构展开后再定位，对其定位误差进行10次测量。结果表明，该机构的重复定位误差满足<0.1 mm的要求（表1）。

4.2.2 锁紧力测试

对本设计自动复位锁紧部件进行锁紧力测试：匀速插拔连接器并记录峰值力，经连续3次重复测试，所得插拔力均满足>5 N的要求。

4.2.3 振动测试

对本设计进行振动测试：搅拌机在额定转速下运行，采用位移传感器对关键部位振幅进行测量。结果表明，在连续3个工作周期内，该关键部位的位

表 1 重复定位误差测量结果

Table 1 Measurement Results of Repeated Positioning Error		
定位精度测试	测量次数（次）	定位误差测量结果（mm）
重复定位误差（mm）	1、2、3、4、5	0.08、0.07、0.09、0.08、0.07
	6、7、8、9、10	0.09、0.08、0.07、0.09、0.08

移均满足<0.05 mm的要求。

4.2.4 重复性测试

本研究采用pH值4.00、6.86、9.18的3个不同范围的pH标准缓冲溶液，对设计的pH酸度计分别进行10次重复性测试。经计算，其标准偏差均符合≤0.01的要求。（参考本实验室酸度计SOP标准：仪器示值重复性在0.01范围内可判定仪器状态正常。）具体数据详见表2。

4.3 便携性与多场景适应性

本研究设计的pH酸度计在收纳后，设备外形平整、突出部件少、整体体积小，可轻松放入工具箱、背包或便携检测箱，适用于：（1）实验室常规分析；（2）环境监测现场快速检测；（3）食品与乳制品生产过程质控；（4）水产养殖水体pH值监测；（5）户外水文、土壤悬浊液采样检测；（6）污水处理厂移动巡检。该设备具备良好的环境适应性与耐用性，可满足多行业、多场景使用需求。

5 对比分析

与传统便携式pH酸度计相比，本设计在结构、操作、稳定性与实用性方面具有明显优势（表3）。

综合对比表明，本研究设计pH酸度计在保持便携性基础上，显著提升了设备可靠性与检测精度。

表 2 重复性测试结果

Table 2 Results of Repetitive Tests		
pH 标准缓冲溶液 pH 值	测试结果	标准偏差
4.00	4.01、4.00、4.01、4.00、4.00、4.02、4.00、4.01、4.01、4.00	0.007
6.86	6.86、6.86、6.87、6.87、6.86、6.86、6.86、6.87、6.86、6.87	0.005
9.18	9.19、9.18、9.17、9.18、9.19、9.18、9.18、9.18、9.19、9.18	0.006

表 3 传统 pH 酸度计与本研究设计 pH 酸度计差异性对比

Table 3 Comparison of Differences between Traditional pH Meter and the pH Meter Designed in this Study

差异性对比	传统便携式 pH 酸度计	本研究设计 pH 酸度计	本研究设计优势
结构	多为暴露式探头与简易卡扣	采用全包裹收纳 + 精准机械限位	结构更紧凑可靠
操作	需多步手动对准、扣合	实现一键解锁、自动锁紧	操作更简便
稳定性	长期使用易松动	采用刚性插接限位，无明显间隙	稳定性更高
使用寿命	探头易损坏	收纳后全面防护	设备使用寿命更长

6 结论与展望

6.1 结论

本研究设计的一种带折叠收纳与自锁限位结构的pH酸度计，以按杆、齿条-齿轮传动、复位弹簧、丝杆、滑臂与固定杆组成一体化联动限位系统，成功实现了折叠收纳机构的一键解锁、平稳展开、自动锁紧与精准定位功能。该设计有效解决了乳品检验过程中传统pH酸度计存在的探头易损坏、折叠机构易松动偏移、定位不准、操作繁琐、稳定性不足等问题，具有结构紧凑、操作简便、传动平稳、锁紧可靠、稳定性高、收纳安全等优点。

实际使用结果分析表明，该装置在乳品企业实验室及生产现场使用过程中，展开后无明显晃动与偏移，可显著提升乳品pH值检测数据的重复性与可靠性；收纳后能有效保护传感部件，减少因频繁移动和现场环境导致的设备损伤，延长设备使用寿命；整体结构适合工程化生产，并可推广至乳制品加工、牧场采样、收奶站检测等典型乳业应用场景，为便携式电化学检测仪器在乳品行业中的结构优化提供了一种可行方案。

6.2 展望

在本设计基础上，结合乳品行业对智能化、数字化及现场快速检测的需求，可进一步开展以下研究与拓展：

（1）集成温度传感器与自动校准算法，提高乳品在不同温度条件下的pH值检测精度与环境适应能力，满足发酵乳、巴氏杀菌乳等工艺过程对pH值实时监控的要求；

（2）结合蓝牙、WiFi等无线通信模块，实现

pH值检测数据与乳品企业质量管理体系（如LIMS、MES）的实时对接，支持数据追溯与远程监控；

（3）采用轻量化、耐腐蚀、食品接触级工程材料，进一步优化设备体积与重量，提升在牧场、收奶站、冷链运输等移动场景中的便携性与卫生安全性；

（4）拓展多传感器集成功能，实现pH值、溶解氧、电导率、温度等多参数同步检测，满足乳品加工中水质、清洗液、发酵液等复杂样品的综合评估需求；

（5）针对乳品企业高频使用场景，对限位结构进行疲劳试验与寿命优化，提高设备在长期、高强度使用中的稳定性与维护便捷性。

未来，随着乳品行业对现场检测、智能检测、移动检测需求的持续增长，本设计思路可进一步推广应用于乳品产业链中的各类便携式分析仪器，推动检测设备向更便携、更稳定、更智能、更适配乳业场景的方向发展。

参考文献

[1] IEEE.IEEE sensors journal[J].IEEE Sensors Journal, 2002, 22 (16) : C2.

[2] 朱耿赞,唐瑜,杨家丽,等.饮用水pH值与微生物常规指标及一般化学指标检测情况分析[J].实验室检测, 2025, 3 (11) : 196-198.

[3] 周珊,谢洪波,黎程民,等.啤酒pH值的影响因素与控制方法[J].2025 (15) : 44-49.

[4] Liu S, Contreras F, Alemán R, et al.Validation of an optical technology for the determination of pH in milk during yogurt manufacture[J].Foods, 2024, 13 (17) : 2766.

[5] De Brabandere A G, De Baerdemaeker J G.Effects of process conditions on the pH development during yogurt fermentation[J].Journal of Food Engineering, 1999, 41 (3-

4) : 221-227.

[6] 王孟辉, 杨晋辉, 钱文涛, 等.生乳新鲜程度判定指标的研究与应用[J].食品工业, 2025 (8) : 331-335.

[7] 兰天, 马莺, 李溪盛.pH值与温度对乳粉复水性的影响[J].中国乳品工业, 2014, 42 (12) : 23-26.

[8] 吴仪凡, 宋宇轩, 张艳, 等.不同巴氏杀菌处理对绵羊乳热加工特性的影响[J].食品安全质量检测学报, 2020, 11 (17) : 5886-5890.

[9] 路博琼, 王琦, 李艳娜, 等.pH (酸度) 计测量标准不确定度的评定[J].工业计量, 2023 (S1) : 85-86.

[10] 和娟.智能化酸度计检定装置研究[D].杭州: 中国计量大学, 2021.

[11] 王婷.酸度计计量检定故障问题分析及电极日常维护[J].工业计量, 2022 (2) : 75-76.

[12] 张永弟, 眭君娜, 王伟志, 等.精密仪器承载板的多尺度轻量化设计[J].河北科技大学学报, 2023, 44 (6) : 562-570.

[13] 王新.一种便携式生物精密检测仪器: CN202011544430.1[P].CN112697571A[2026-05-14].