

doi: 10.11857/j.issn.1674-5124.2019040100



可移动高效组合式浮子流量计检定装置的研制

李晶晶, 吴晓昱, 桑素丽, 王建民, 周 齐,
滕梓洁, 史去非, 李 晨
(北京市计量检测科学研究院, 北京 100029)

摘 要: 针对建设专用装置检定浮子流量计, 场地占用大且无法满足实流检定的问题, 研制一种流量范围为 0.006~16 m³/h 的可移动浮子流量计检定装置。装置原理为静态质量法, 1 台 150 kg 的高准确度电子秤为主标准器。用专用电动换向器, 保证换向同步性。设计基于可编程逻辑控制器(PLC)的控制系统, 通过对夹表器夹紧力的实时监测, 大幅度降低被测浮子流量计玻璃管在安装过程中损坏的可能性。采用液体流量标准装置检定规程中的方法对整套装置进行实验及不确定度评定, 得到其扩展不确定度为 0.25% ($k=2$)。装置具有方便移动、可拆卸、可快速组合的特点, 能够满足准确度等级 1.0 级及以下浮子流量计实验室或现场校准的需求。

关键词: 计量学; 浮子流量计; 可移动液体流量标准装置

中图分类号: TH71

文献标志码: A

文章编号: 1674-5124(2019)08-0100-06

Development of a movable and efficient combined float meter calibration facility

LI Jingjing, WU Xiaoyu, SANG Suli, WANG Jianmin, ZHOU Qi, TENG Zijie, SHI Qufei, LI Chen
(Beijing Institute of Metrology, Beijing 100029, China)

Abstract: Current calibration facilities for float meters need to build specific facilities, occupy large area, and can't meet the actual conditions in the field. To address these issues, a movable calibration facility can operate in the flow rate range of 0.006-16m³/h was established in this study. For high-accuracy liquid flowmeter calibration purposes, generally, gravimetrically based facility was in use. High-accuracy electronic scale with 150 kg was utilized as master standard. Electric diverter was employed to confirm the synchronization and avoid the potential issue of traditional diverters, which might not be operated in the field due to lack of gas source. Additionally, PLC- based control system was designed to reduce the damage possibility of glass tube in float meter during the installation by real-time monitoring the clamping force of the clamp. As a result, the preliminary expanded uncertainty ($k=2$) of this liquid flow standard facility was estimated to be 0.25%. Moreover, this novel float meter calibration facility is capable to move, disassemble, and quick assemble and install, and can be applied for laboratory and field calibration of 1.0 and below accuracy class float meter.

收稿日期: 2019-04-26; 收到修改稿日期: 2019-05-12

基金项目: 2018 年国产质监领域计量科学仪器验证评价与推广(Z181100009518012); 北京市计量检测科学研究院青年基金项目(KJ2018-14)

作者简介: 李晶晶(1982-), 女, 黑龙江大庆市人, 高级工程师, 博士后, 主要从事流量计量领域技术和方法研究。

通信作者: 李 晨(1980-), 男, 北京市人, 高级工程师, 硕士, 研究方向为流量和容量计量。

Keywords: metrology; float meter; movable liquid flow calibration facility

0 引言

浮子流量计是一种使用简单、读数方便的瞬时体积流量测量仪表,适用于低流速液体流量特别是低雷诺数情况下的微小流量测量工况^[1]。因其结构简单、工作可靠、流量稳定、可测低流速介质等优点^[2-3],浮子流量计被广泛用于电力、石化、化工、冶金、医药、环境保护、污水处理等领域。

浮子流量计工作介质自下而上流动,不能水平安装。检定介质与刻度介质不同时需要进行刻度换算和粘度修正^[4,5]。国内各技术机构和企业现有水流量标准装置无法检测浮子流量计,需建立专用检定装置,场地占用大且功能单一。另外,实验室对浮子流量计的检定通常在水流量装置上进行,无法模拟出实际介质条件。虽然实验室检定可给出仪表在标准条件下的计量性能,但会因实际使用条件、介质的物性参数甚至介质本身的变化而带来附加误差。因此,研究可移动检定装置,实现被检流量计工况条件下的现场计量,对浮子流量计的检测具有重要意义。

本文建立了一套可移动、可与各种液体流量装置高效组合的浮子流量计检定装置,能够快速将水平流场转换为适于浮子流量计检定的垂直流场,很好的满足了多参数、多规格、各种液体工作介质浮子流量计的现场和实验室检测需求。

1 浮子流量计检定装置测量原理

流量标准装置是流量仪表进行检测完成量值传递的重要设备,是保证流量仪表质量的关键环节。依据测量方法可将流量标准装置分为静态质量法、静态容积法、动态质量法和动态容积法^[6]。本文设计的浮子流量计检定装置为静态质量标准装置,流量源恒压,流量稳定,测量精度高。静态质量法流量标准装置测量原理是将一定时间内通过流量计的介质,经由换向器全部导入置于称量标准器上的容器中,然后测量容器中介质的质量从而得到流过流量计的介质质量,再通过测量时间得到质量流量^[6,7]。数学模型为

$$Q = \int_{t_1}^{t_2} q_m dt = \frac{m}{t} \quad (1)$$

式中: Q ——累积质量流量, kg/s;

q_m ——瞬时质量流量, kg/s;

m ——测量时间内称量容器内的液体质量示值, kg;

t, t_1, t_2 ——测量时间, s。

2 浮子流量计检定装置方案设计

2.1 装置设计指标

浮子流量计被广泛应用于小管径、低流速测流领域。以液体为例,口径 10 mm 以下玻璃管浮子流量计满度流量的名义管径,流速只在 0.2~0.6 m/s 之间,甚至低于 0.1 m/s^[8]。常用浮子流量计口径为 DN15~DN50,对应的流量范围和准确度等级分别见表 1 和表 2。

根据常用流量计口径、准确度等级和流量测量范围进行装置设计,具体设计指标见表 3。装置设计采用测量精度较高的静态质量法,流量范围 0.006~16 m³/h,满足常用口径 DN15~DN50 液体浮子流量计检定需求。浮子流量计检定装置的扩展不确定度应优于被检流量计最大允许误差的 1/2^[9]。最高准确度等级浮子流量计为 1.0 级(表 2),因此组合装置的扩展不确定度应优于 0.5%。为保证测

表 1 浮子流量计常用流量测量范围

口径/mm	流量测量范围/(m ³ ·h ⁻¹)	
	常见最小流量	常见最大流量
DN15	0.006	1
DN20	0.24	1
DN25	0.24	2.5
DN32	0.4	6
DN40	0.4	10
DN50	1	16

表 2 浮子流量计准确度等级、最大允许误差和回差

准确度等级				
1.0	1.5	2.5	4.0	5.0
最大允许误差/%				
±1.0	±1.5	±2.5	±4.0	±5.0
最大允许回差/%				
1.0	1.5	2.5	4.0	5.0

表3 装置主要设计指标

装置参数	设计指标
工作原理	静态质量法
流量范围	0.006~16 m ³ /h
管径范围	DN15~DN50
装置扩展不确定度	优于0.5%, k=2
浮子流量计安装倾斜角度	<2°
装置整体高度	<2 m
检定介质	常温液体
安装方式	可移动、快捷组装

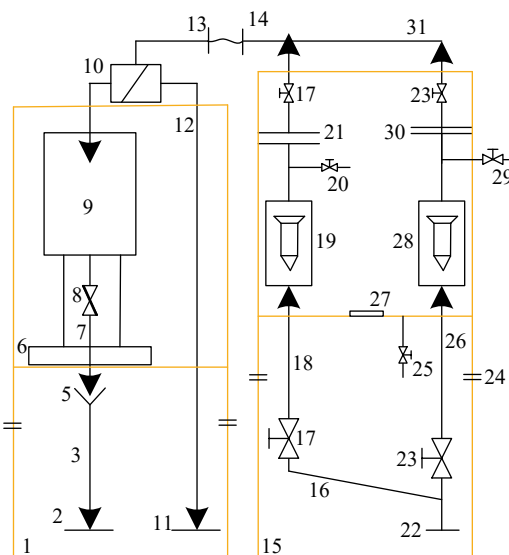
量准确性,浮子流量计安装倾斜角度应<2°^[9]。为了方便装置的移动、拆卸和高效组装,整套装置高度应不超过2 m。

2.2 装置结构设计

浮子流量计检定装置结构设计如图1,其主体为2个长方体框架,由浮子流量计装夹表系统和称量系统(含水流换向系统)组成。浮子流量计装夹表系统中部为工作台面,台面一侧安装有水平尺,框架底部安装有4个脚轮和4条可伸缩支脚便于装置的移动和调节固定。进水管路上依次安装有快速接头、开关阀、调节阀和排水阀。装置上端设置手动夹表器,实现被检浮子流量计的安装与拆卸。称重系统包括换向器、称量容器和电子秤。称重系统下部为工作台面,同样安装水平尺、脚轮和可伸缩支脚,实现被检浮子流量计与称重系统的连通。

装置设置2个检定台位, DN25以下包括DN15、DN20和DN25为一条管线,另一个为DN32、DN40和DN50浮子流量计检定台位。采用变换管段的方式,在有限的2个工作台位上覆盖了DN15~DN50所有管径浮子流量计的检定能力。一个台位工作的同时可在另一个台位安装被检表,可有效提高检定效率。

机械设计上,采用电动数控换向器和夹表器超限报警,提高检测过程的自动化和智能化程度。首先,电动换向器控制精度高,且在现场不具备压缩空气的情况下仍可使用。其次,在夹装过程中,浮子流量计尤其是无导向结构流量计的玻璃管极易被气动夹表器夹碎,采用带有夹紧力超限报警功能的手动夹表器可以有效解决这个问题。再次,浮子流量计的正确检测需要垂直稳定流场,对进、出口管



1. 称量系统可移动平台及支架; 2. 称重容器回水管道快装型法兰; 3. 称重容器回水管道; 4. 调整水平(微调高度)的机械结构; 5. 称重容器排水管道与回水管道连接的漏斗; 6. 高精度电子秤; 7. 称重容器排水管道; 8. 称重容器排水底阀; 9. 称重容器; 10. 电动换向器; 11. 换向器旁通管道快装型法兰; 12. 换向器旁通管道; 13. 称量系统与浮子装夹表系统连接法兰; 14. 浮子装夹表系统与称量系统连接的法兰; 15. 浮子装夹表系统可移动平台及支架; 16. 检定管线分支管线; 17. DN25 检定管线选通阀; 18. DN25 检定管线前直管段; 19. DN25 及以下口径被检浮子流量计; 20. 夹表器下法兰泄流管和泄流阀; 21. DN25 手动夹表器; 22. 浮子装夹表系统与主液体流量装置的管道连接法兰; 23. DN50 检定管线选通阀; 24. 调整水平(微调高度)的机械; 25. 浮子装夹表系统支撑平台上的泄流管和泄流阀; 26. DN50 检定管线前直管段; 27. 浮子装夹表系统支撑平台的水平程度指示气泡; 28. DN50、DN40、DN32 口径被检浮子流量计; 29. 夹表器下法兰泄流管和泄流阀; 30. DN50 手动夹表器; 31. 汇流管道。

图1 浮子检定装置结构示意图

道同轴度和工作台面的垂直度要求比较严格。通过水平泡调节工作台面的水平度,可保证被检流量计的倾斜度小于2°。

2.3 装置控制系统设计

装置控制部分主要包括夹紧力控制系统、换向器控制系统和称重控制系统(图2),获取电子称读数、控制夹表器、控制换向器动作、控制底阀开关、脉冲计数等由计算机完成。在夹紧力控制系统的设计上,考虑到被检浮子流量计容易损坏,在每个夹表器上安装夹紧力传感器(夹紧力测试仪1和夹紧力测试仪2)。当夹紧力过大时,由计算机进行夹紧力超限报警,提示操作人员停止夹紧动作;换向器控制系统中,换向器是液体流量装置的重要组成部

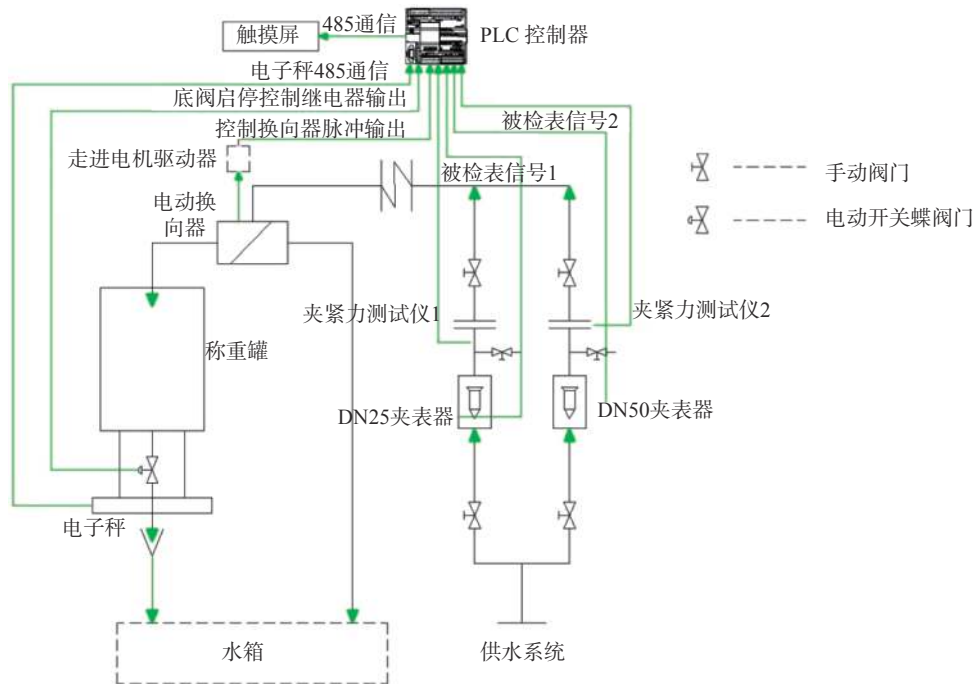


图 2 装置控制系统设计

分,其不确定度大小对装置整体合成不确定度有较大影响^[10-11]。影响换向器精度的主要因素是实际注水时间和触发光电信号所产生时间之间的误差^[12]。本装置采用步进电机驱动分水器换向,由 PLC 发送脉冲控制电机转速、加速度和转动角度。通过 PLC 的高速脉冲输出通道,向换向器的步进电机驱动器按照匀加速-定速-匀减速的方式发送脉冲,换向器电机带着换向器导流体进行加速-匀速-减速的运行。精确控制换向器运动,保证装置不确定度水平;称重控制系统中,装置主标准器高精度电子秤通过 485 通信模式,将传感器读数传输至 PLC 控制器,实现实时数据采集。

2.4 装置连接系统设计

浮子流量计检定装置和液体流量装置连接后的系统示意图如图 3,组合装置由储水系统、水源循环稳压系统、变频调速系统、装夹表系统、水流换向系统、计算机控制系统、标准器和仪表检定管线系统组成。在水流量装置管段前后安装三通阀和预留旁路,通过控制三通阀实现水流在试验管路和旁路之间的切换,三通阀的一端分别通过软管与可移动浮子流量计检定装置的入、出口相连,形成浮子流量计检定回路。浮子流量计检定装置和液体流量装置连接成高效组合装置,将水平流场转换成适合浮子流量计检定的垂直流场。

3 浮子流量计检定装置的不确定度分析

依据 JJG164-2000 液体流量标准装置检定规程对浮子流量计检定装置进行不确定度评定^[11]。不确定度分量主要包括计时器、电子秤和换向器。利用北京计量院水流量标准装置作为动力源,对研发的浮子流量计检定装置进行不确定度评定。换向器在水流量标准装置各组成部分中极为关键,在整个装置不确定度中占有相当比重,是整个装置不确定度的主要来源^[10],本文采用行程差法对换向器换入/换出重复性误差进行测量。浮子流量计检定装置各不确定度分量评定结果见表 4 和表 5。

依据 JJG164-2000,浮子流量计检定装置的合成不确定度 $u=0.1095\%$,装置的扩展不确定度 $U=k \cdot u=2.23 \times 0.1095\%=0.2441\% \approx 0.25\% (k=2.23)$ 。

1.0 级为浮子流量计的最高准确度等级,浮子流量计检定装置的扩展不确定度应优于被检流量计最大允许误差的 $1/2$ ^[9]。组合装置扩展不确定度 0.25%,满足最高等级浮子流量检定要求。

4 解决的问题

本文解决的问题包括:

1) 采用电动数控换向器技术,解决移动装置在现场应用时,由于不具备压缩空气,带来的换向称重系统无法使用的问题。

2) 采用带有夹紧力超限报警功能的手动夹表

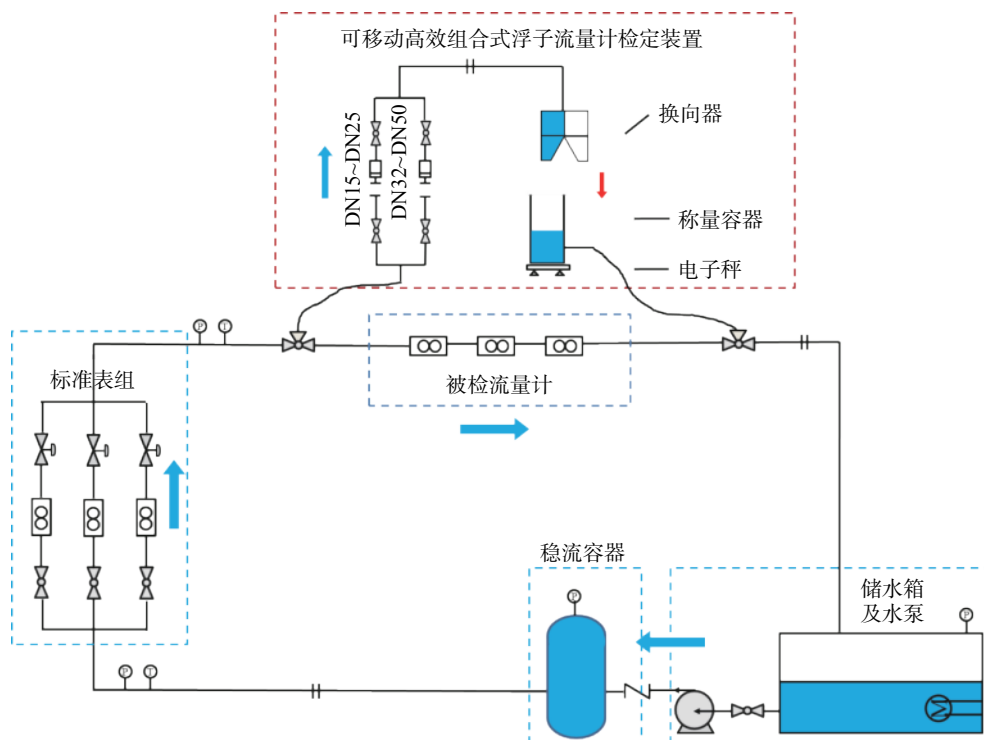


图3 浮子流量计检定装置连接系统示意图

表4 浮子流量计检定装置不确定度评定

计时器	晶振稳定度/%	A类不确定度 s_1 /%	B类不确定度 u_1 /%
	0 ¹⁾	0.0004	0.0001
衡器	使用量限/kg	A类不确定度 s_2 /%	B类不确定度 u_2 /%
	150	0.1085	0.0140
换向器	A类不确定度/%		B类不确定度 u_4 /%
	A类相对标准不确定度 s_3 /%	A类相对标准不确定度 s_4 /%	0.0019
	0.0003	0.0002	
砝码	砝码相对不确定度 u_5 /%		
	0.003 0		
流量范围/(m ³ ·h ⁻¹)	0.006~16		
最短测量时间/s	30		

注: 1) 计时器晶振稳定度一般低于装置不确定度的1/10^[11]。

表5 浮子流量计检定装置不确定度总表

s_1 /%	s_2 /%	s_3 /%	s_4 /%	u_1 /%	u_2 /%	u_4 /%	u_5 /%	$u^{(1)}/%$	$U^{(2)}/%$
0.0004	0.1085	0.0003	0.0002	0.0001	0.0140	0.0019	0.0030	0.1095	0.2441

注: 1) $u = (s_1^2 + s_2^2 + s_3^2 + s_4^2 + u_1^2 + u_2^2 + u_4^2 + u_5^2)^{1/2}$; 2) $U = k \cdot u$, $k=2.23$ 。

器, 解决玻璃管浮子流量计夹装过程中, 容易被夹表器损坏的问题。

3) 解决了多种工作介质浮子流量计的检测问题。本装置可与各种装置包括水流量、油流量、高

黏液体流量等连通, 实现各种浮子流量计包括玻璃浮子流量计、金属浮子流量计和塑料浮子流量计等的在线检测, 无需刻度换算和粘度修正。

4) 提高了检测效率。装置设计2个被检表台

位, 每个台位都有各自的开关阀和流量调节阀。相互独立、互不影响, 在检测一台流量计的同时可以更换另一台位的被检表。

5 结束语

本文设计了一种可移动、拆卸方便、可快速组合的浮子流量计检定装置, 为保证测量精度采用电动换向器减少换入/换出行程差和重复性误差, 为避免浮子流量计被夹碎设计了夹紧力报警功能。实验结果表明, 组合装置的不确定度($U=0.25\%$, $k=2.23$)可有效满足 DN15~DN50, 流量范围 0.006~16 m³/h 浮子流量计的实验室和现场检定需求。

参考文献

- [1] 葛利俊. 提高浮子流量计测量精度的研究 [D]. 天津: 天津大学, 2011.
- [2] 黄邵峰, 陈洁, 曹毅杰, 等. 基于现场浮子流量计组的监控系统设计 [J]. *工业控制计算机*, 2016, 29(1): 14-15.
- [3] 岳秋琴, 董因涛. 金属管浮子流量计智能检测控制系统研制 [J]. *重庆电子工程职业学院学报*, 2012, 21(1): 159-161.
- [4] 陈李. 浮子流量计检定介质与刻度介质不同时的刻度换算和粘度修正方法 [J]. *计量与测试技术*, 2013, 40(6): 60-62.
- [5] 郝松, 刘娜, 刘尚玉. 流体粘度对浮子流量计测量影响的试验研究 [J]. *轻工标准与质量*, 2017, 3: 72-73.
- [6] 蔡洁, 海宁, 林峰. 静态质量法水流量标准装置校准流量计不确定度分析的讨论 [J]. *工业计量*, 2013, 23(4): 60-63.
- [7] 王杰, 李旭. 静态质量法油流量标准装置不确定度分析 [J]. *计量与测试技术*, 2016, 43(2): 83-87.
- [8] 孙仁伟. 浮子流量计的发展介绍 [J]. *自动化与仪表*, 2005, 20(5): 29-31.
- [9] 浮子流量计检定规程: JJG257-2007[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [10] 马龙博, 郑建英, 赵建亮. 液体流量标准装置中开式换向器测量误差实验研究 [J]. *自动化仪表*, 2015, 36(4): 60-67.
- [11] 液体流量标准装置检定规程: JJG164-2000[S]. 北京: 中国标准出版社, 2000.
- [12] 李峥. 水流量标准装置不确定度和流量稳定性研究 [D]. 天津: 天津大学, 2009.
- [12] 李仲根, 冯新斌, 郑伟, 等. 大气中不同形态汞的采集和分析方法 [J]. *中国环境监测*, 2007, 23(2): 19-25.
- [13] MUNTHER J, WNGBERG I, PIRRONE N, et al. Intercomparison of methods for sampling and analysis of atmospheric mercury species [J]. *Atmospheric Environment*, 2001, 35: 3007-3017.
- [14] 环境空气汞的测定巯基棉富集-冷原子荧光分光光度法 (暂行): HJ 542-2009[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2009.
- [15] SCHROEDER W H, KEELER G, KOCK H, et al. International field intercomparison of atmospheric mercury measurement methods [J]. *Water Air and Soil Pollution*, 1995, 80: 611-620.
- [16] LYNAM M M, KEELER G J. Comparison of method for particulate phase mercury analysis: sampling and analysis [J]. *Anal Bioanal Chem*, 2002, 374: 1009-1014.
- [17] TAYLOR V F, CARTER A, DAVIES C, et al. Trace-level automated mercury speciation analysis [J]. *Anal Methods*, 2011, 3(5): 1143-1148.
- [18] LIN Y, YANG Y, LI Y X, et al. Ultrasensitive speciation analysis of mercury in rice by headspace solid phase microextraction using porous carbons and gas chromatography-dielectric barrier discharge optical emission spectrometry [J]. *Environ Sci Technol*, 2016, 50(5): 2468-2476.
- [19] VLADIMIR N E, PABLO R G, JEROEN E S, et al. Simultaneous determination of species-specific isotopic composition of Hg by gas chromatography coupled to multicollector ICPMS [J]. *Anal Chem*, 2008, 80(10): 3530-3538.
- [20] YANG Y, TAN Q, LIN Y, et al. Determination of ultratrace tellurium in water by hydride generation atomic absorption spectrometry using online separation and pre-concentration with nano-TiO₂ microcolumn [J]. *Anal Chem*, 2018, 90(20): 11996-12003.

(编辑: 刘杨)

(上接第 79 页)

(编辑: 徐柳)