



团 体 标 准

T/CSMT-YB010—2024

液体流量标准装置测控系统

Measurement and control system for liquid flow standard facilities

2024-11-13 发布

2024-12-13 实施

中国计量测试学会 发 布
中国标准出版社 出 版

目 次

前言	III
引言	IV
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 系统组成	2
5 技术要求	4
5.1 一般要求	4
5.2 计时模块要求	4
5.3 信号采集单元要求	5
5.4 控制单元要求	7
5.5 软件单元要求	8
5.6 供电单元要求	11
6 试验方法	11
6.1 一般检查	11
6.2 计时模块	11
6.3 信号采集单元测试	12
6.4 控制单元测试	17
6.5 软件单元测试	18
6.6 供电单元测试	19
6.7 试验方法相关计算公式	19
6.8 试验设备	20
附录 A (资料性) 测控系统说明书编写要求	22
A.1 电气连接	22
A.2 硬件系统	22
A.3 软件系统	23
A.4 安全措施	23
附录 B (资料性) 软件结构示例	24
B.1 一般结构	24
B.2 权限管理	24
B.3 信息显示	24
B.4 参数设置	24
B.5 数据采集	25

B.6	过程控制	25
B.7	运算分析	25
B.8	数据存储	25
B.9	装置测试	25
附录 C (资料性)	标准流量计算方法	26
C.1	质量法流量标准装置(称量容器与大气连通)标准质量总量和标准体积总量计算公式	26
C.2	容积法流量标准装置(标准量器与大气连通)被测流量计处标准体积总量计算公式	26
C.3	体积管流量标准装置被测流量计处标准体积总量计算公式	27
C.4	标准表法流量标准装置(标准流量计为脉冲输出)被测流量计处标准体积总量计算公式	27
C.5	标准瞬时流量计算公式	27
C.6	标准流量计算公式的简化	28
附录 D (资料性)	水物性参数计算方法	29
D.1	水密度计算公式	29
D.2	水的膨胀系数	30
D.3	水的压缩系数	31
附录 E (资料性)	油品物性参数计算方法	33
E.1	油品标准密度的确定	33
E.2	油品密度计算方法	33
E.3	油品压缩系数计算公式及适用条件	33
E.4	油品膨胀系数计算	34
附录 F (资料性)	空气密度计算方法	35
F.1	CIPM—2007 湿空气密度公式	35
F.2	湿空气密度近似计算	36
附录 G (资料性)	原始记录参考格式	37
参考文献		39

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国计量测试学会归口。

本文件起草单位：中国计量科学研究院、辽宁省计量科学研究院、东北大学秦皇岛分校、南京市计量监督检测院、丹东贝特自动化工程仪表有限公司、丹东通博测控工程技术有限公司、北京畅微科技有限公司、江西省检验检测认证总院计量科学研究院、内蒙古自治区计量测试研究院、海南省检验检测研究院计量测试所、广州能源检测研究院、北京市计量检测科学研究院、丹东市蓝信电器有限公司、丹东意邦计量仪器仪表有限公司、天信仪表集团有限公司、丹东远沃科技有限公司、中国计量测试学会。

本文件主要起草人：孟涛、陈梅、韩博、张益男、毕晓龙、周国栋、赵伟程、裘雪玲、李进峰、梁家丰、万勇、李晶晶、张满正、贾文涛、陶朝建、朱晓峰、张佳楠。

引 言

液体流量标准装置是以液体为试验介质,能够提供具有一定准确度、稳定性和重复性的流量值,用于对流量计进行量值传递的试验装置。测控系统是液体流量标准装置的关键组成部分,是控制装置运行和采集装置状态信息的载体,与流量标准装置的安全运行及流量计测试结果的准确性密切相关。目前,已发布实施的 JJG 164《液体流量标准装置检定规程》主要针对流量标准装置计量器具的量值控制进行了规范。

本文件旨在规范液体流量标准装置测控系统的功能、信号采集策略及计算模型,完善液体流量量值溯源体系,保证液体流量标准装置的量值准确和统一。

本文件中相关技术内容的确定,是以目前国内液体流量标准装置生产企业生产能力和相关行业对液体流量标准装置使用需求为基础,并结合行业发展趋势,在对测控系统进行标准化引导的同时注意避免对其灵活性的限制,所提出的技术要求均为基础性功能要求。

液体流量标准装置测控系统

1 范围

本文件描述了液体流量标准装置(含体积管)测控系统(以下简称测控系统)的系统组成和试验方法,规定了测控系统的技术要求。测控系统的安全要求按使用环境的相关安全技术要求,本文件中未涉及测控系统与使用环境间安全符合性的技术要求和试验方法。

本文件适用于以液体为介质的流量标准装置的测控系统在新制造和升级改造后的验收及后续使用的功能检测,以及测控系统设计、调试、维修、升级后的功能检测。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

JJF 1001 通用计量术语及定义

JJF 1004 流量计量名词术语及定义

JJF 1587—2016 数字多用表校准规范

3 术语和定义

JJF 1001、JJF 1004 和 GB/T 17611 界定的及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

液体流量标准装置 liquid flow standard facilities

以液体(如水或油)为试验介质,提供确定准确度流量值的测量设备。

[来源:JJF 1004—2004,3.1,有修改]

3.2

测控系统 measurement and control system

通常由硬件和软件组成,按照设定程序对流量标准装置进行执行机构控制、信号采集、数据处理和信息处理的系统。

3.3

信号采集单元 signal acquisition unit

根据指令采集来自传感器、变送器及其他信号源输入的流量、温度、压力等过程参数信号,并对采集的数值进行记录、存储、处理、显示和调用的系统功能单元。

[来源:JJF 1048—1995,2.1,有修改]

3.4

控制单元 control unit

向流量标准装置的设备传递控制指令,使设备根据控制指令执行相应操作的系统功能单元。

3.5

软件单元 software unit

存储在计算机存储器中,能为操作人员与流量标准装置建立信息交互并进行信息处理的软件及其配套文档的集合。

3.6

时间戳 time stamp

唯一的时间数据。

注:例如,表明某一事件或故障发生的日期或时间,能表示成秒数或日期加时刻统一格式的字符串。

[来源:GB/T 42555—2023,3.53]

3.7

同步信号 synchronous signal

为测控系统同时执行多项操作任务提供相同时间参考的信号。

3.8

操作部件 operation unit

测控系统中接受人员操作的部件。

[来源:GB/T 4205—2010,3.1,有修改]

3.9

人机交互界面 man-machine interface; MMI

在操作人员与设备之间提供直接对话并能使操作人员控制和监视设备运行的部件。

注:这种部件可能包括手动操作件、指示器件及屏幕。

[来源:GB/T 4205—2010,3.3,有修改]

3.10

通信信号传输设备 communication signal receiver

能够以特定的通信方式接收和发送特定通信信号的设备。

3.11

执行器 actuator

根据测控系统发出的指令执行响应操作的设备。

4 系统组成

测控系统一般由信号采集单元、控制单元、软件单元、供电单元等组成。信号采集单元主要用于采集、处理与其连接的传感器、仪表的信号或信息;控制单元负责发送和接收控制指令,调整工艺流程,维护装置的正常运行;软件单元为操作人员使用装置、了解装置状态提供人机交互载体;供电单元为流量标准装置(以下简称流量装置)供电。以典型的静态质量法液体流量装置为例,测控系统结构示意图如图1所示。

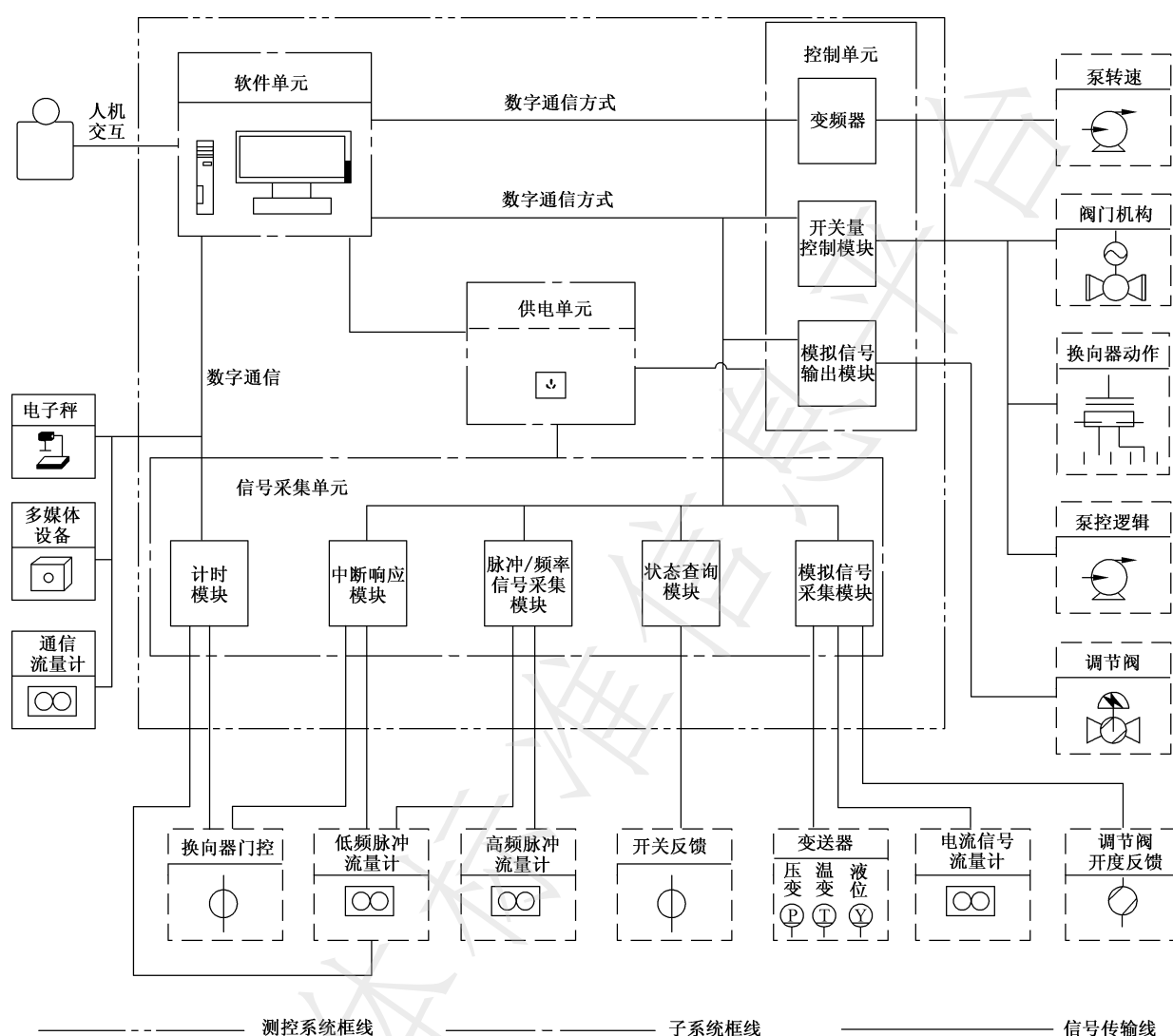


图1 静态质量法液体流量装置测控系统结构示意图

各部分具体组成情况如下：

- 信号采集单元包括计时模块、中断响应模块、脉冲/频率信号采集模块、模拟信号采集模块、状态查询模块等相关设备，此外，还包括根据实际使用情况配备的通信协议转换设备等；
- 控制单元包括变频器、开关量控制模块、模拟信号输出模块等相关设备，根据流量装置设计需要，也可配备步进电机驱动、伺服电机驱动等设备；
- 软件单元由计算机的上位机软件及配套电子文档组成；
- 供电单元由供电设备及其配件组成，例如不间断电源(Uninterruptible Power Supply, UPS)等。

当测控系统内部各系统间采用数字通信进行数据传输时，还可包括串口服务器和交换机，用于集中处理通信数据。

同步信号形式可根据装置结构特征确定，对于静态质量法液体流量装置，同步信号可采用换向器的门控信号；对于体积管装置，同步信号可采用体积管的检测开关信号；对于其他动态容积法装置，同步信号可采用标准金属量器的液位开关信号。

5 技术要求

5.1 一般要求

5.1.1 技术资料要求

5.1.1.1 说明书

测控系统应具有说明书,说明书中应包含测控系统名称、系统版本、系统信号采集接口的技术指标、布线及接口信息、操作手册、安全防护机制等内容。

说明书内容可参照附录 A。

5.1.1.2 其他资料

测控系统应具有配套设备说明书、配套软件。

5.1.2 布线要求

信号线缆应采用屏蔽电缆。信号线缆与动力线缆应分开走线,交叉敷设时应成直角跨越。线缆中间不应有接头,控制柜内的导线不应存在中间接头。控制柜内配线应标注线号。电缆桥架内部应平整、光洁、无杂物、无毛刺,桥架之间接口应紧密、无毛刺,支架切口处应打磨光滑,电缆(线)保护管的管口应光滑无毛刺。

5.1.3 接地要求

测控系统应分别设置保护接地体和仪表接地体。控制柜外壳应采用接地连接。接地电阻应不大于 $4\ \Omega$ 。

5.1.4 绝缘要求

测控系统中,额定电压(正弦波交流有效值)在 $130\ \text{V}\sim 650\ \text{V}$ 范围内的设备电源绝缘电阻应不小于 $20\ \text{M}\Omega$ 。

5.2 计时模块要求

5.2.1 检测接口要求

5.2.1.1 计时检测接口

计时模块应具备计时检测接口,输出或接收计时启、停的同步信号。

5.2.1.2 晶振检测接口

若计时模块采用独立计时器,计时模块应具备晶振检测接口,输出晶振频率。

5.2.2 计时准确度要求

计时模块在计时范围内的时间间隔测量的最大相对误差绝对值应不大于流量装置相对扩展不确定度的 $1/20$ 。

5.2.3 计时范围要求

计时模块计时范围应符合流量装置设计要求。一般条件下,建议计时下限值不大于 $10\ \text{s}$,计时上限

值不小于 3 600 s。

5.2.4 显示分辨力要求

计时模块的显示分辨力应不大于 1 ms,或优于计时模块计时下限值的 0.003%。

5.3 信号采集单元要求

5.3.1 一般要求

测控系统应配备足够数量与种类的信号采集接口,满足对设备的信号采集要求。宜进行信号采集的设备包括:主标准器、配套温度、压力仪表、被测流量计等。测控系统识别采集信号来源应与实际信号来源相同。

5.3.2 同步信号采集能力要求

5.3.2.1 测控系统应采用可立即对触发信号响应的方式(如中断方式)接收同步信号,如换向器的换向信号、体积管的检测开关信号等。同步信号触发后应立即执行响应指令,如脉冲采集、系统计时等相关功能,同步信号从产生到测控系统执行响应动作间的时间间隔应不大于计时模块计时下限值的 0.003%,且不大于 1 ms。

5.3.2.2 采用图像采集设备抓拍累积流量进行实时同步法测量的流量装置,图像采集设备宜采用给抓拍图像打时间戳的同步方式,由时间戳计算得到的时间间隔相对误差绝对值应不超过被测流量计最大允许误差绝对值的 1/3。

5.3.3 计数/频率信号采集能力要求

测控系统的计数/频率信号采集能力应满足流量装置设计要求。一般条件下,最小可识别上升沿脉宽宜不大于 50 μ s,可识别占空比为 1:1 的脉冲信号的频率上限应不小于 10 kHz,在工作计数范围内的脉冲计数误差应不超过 ± 1 个脉冲。在对高/低电平界定无特殊要求的情况下,高电平的识别阈值宜大于或等于 3 V,低电平的识别阈值宜小于或等于 0.4 V。

5.3.4 模拟信号采集能力要求

测控系统的模拟信号采集能力应满足流量装置设计要求。一般条件下,电流信号测量范围应不小于 4 mA~20 mA,显示范围宜不小于 3.6 mA~22 mA,电压信号测量范围宜不小于 0 V~10 V。

在测量范围内,模拟信号测量准确度一般应满足:

- 若用于采集被测流量计的电流/电压信号,其引入流量测量的相对误差不超过流量装置检测最高准确度的流量计的最大允许误差绝对值的 1/5,且不超过 $\pm 0.1\%$;
- 若用于采集温度、压力变送器产生的电压/电流信号,其引入的测量误差不大于所连接变送器最大允许误差绝对值的 1/3,且不超过 $\pm 0.2\%$;
- 若用于采集温度传感器的电阻信号,测控系统基于该信号计算得到的温度值的最大允许误差一般不超过 $\pm 0.04\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

5.3.5 图像采集能力要求

测控系统图像采集能力应满足流量装置设计要求。一般条件下,所采集的图像宜保存原图,原图应与测量记录建立对应标签。

5.3.6 并发信号采集能力要求

对于具备多路同类型并发信号采集能力的测控系统,其最大采集量下的采样速率和准确度应满足

流量装置设计要求以及 5.3.3~5.3.5 中所对应信号采集方式的要求。

5.3.7 仪表信号采集策略技术要求

5.3.7.1 静态法流量装置标准器累积量采集策略要求

测控系统对标准器示值的采集策略应符合流量装置设计要求。其中,对于具有电子信号输出的静态累积流量标准器,如电子秤、标准金属量器等,示值应进行稳定度判定,合格后才可读数,其中:

- a) 电子秤的示值稳定度判定依据:在不少于 5 s 时间内等时间间隔采集 5 次电子秤示值,任意两次电子秤示值间差值的绝对值应不大于电子秤的 1 个检定分度值,且与电子秤示值的比值应不超过流量装置相对扩展不确定度的 1/3;
- b) 标准金属量器稳定度判定依据:在不少于 5 s 时间内等时间间隔采集 5 次标准金属量器内液体体积示值,任意两次金属量器示值间差值的绝对值不超过标准金属量器的 0.5 个分度容积。

5.3.7.2 瞬时量采集策略要求

测控系统对瞬时量的采集策略应符合流量装置设计要求。一般条件下,采样周期应能进行设定,其中,温度、压力等参数的采样周期宜不大于 5 s,流量计采样周期宜不大于 2 s。采样周期相对误差应不超过 $\pm 10\%$,且不大于 0.5 s。宜采用计算标准偏差等方法对采集数据进行稳定性分析,若发现有异常值应予以报警或提示。

5.3.7.3 累积量同步策略要求

测控系统对累积量的采集策略应符合流量装置设计要求。其中,针对下述两种累积量同步情况的具体要求如下所述。

- a) 被测流量计累积量为脉冲输出时,测控系统宜采用双计时法脉冲插值算法,通用插值算法见公式(1),同步累积脉冲计数准确度应符合流量装置设计要求,一般情况下最低要求为最大允许误差为 ± 0.1 个脉冲。

$$n' = N \frac{T}{T_N} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

n' ——经脉冲插值后的累积脉冲数;

N ——测控系统采集到的完整周期脉冲数;

T ——开始同步信号和结束同步信号之间的时长;

T_N ——测控系统测得的 N 个完整脉冲周期的时长。

T_N 的常见取值方法如图 2 所示,若测控系统以开始同步信号后流量计发出的第一个脉冲上升沿为 T_N 计时起始信号,结束同步信号后流量计发出的第一个脉冲上升沿为 T_N 计时结束信号,则 $T_N = T_1$;若测控系统以开始同步信号之前流量计发出的最后一个脉冲下降沿为 T_N 计时起始信号,结束同步信号之前流量计发出的最后一个脉冲下降沿为 T_N 计时结束信号,则 $T_N = T_2$ 。

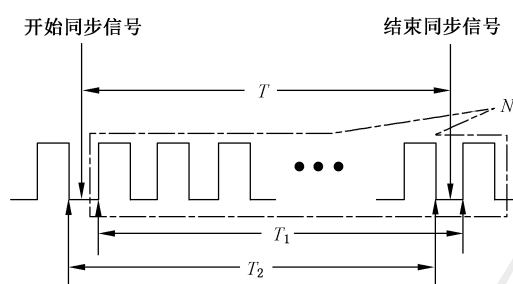


图 2 双计时法脉冲插值时序图

- b) 当通过通信方式采集累积流量时,测控系统宜采用公式(2)进行累积量同步,原理如图 3 所示。同步后得到的累积流量误差绝对值应小于被测流量计最大允许误差绝对值的 1/10:

$$Q' = T \frac{Q_2 - Q_1}{t_E - t_S} \dots\dots\dots (2)$$

式中:

- Q' ——经同步运算后被测流量计累积流量值;
- Q_1 ——测控系统在发出开始同步信号后接收到的流量计累积量显示值;
- Q_2 ——测控系统在发出结束同步信号后接收到的流量计累积量显示值;
- t_S ——收到 Q_1 信号的时刻;
- t_E ——收到 Q_2 信号的时刻。

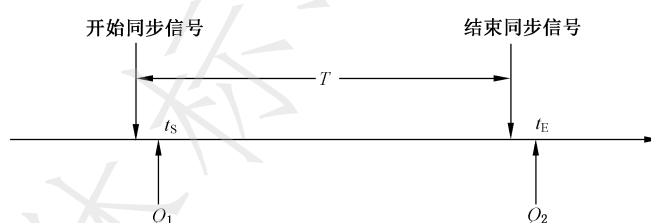


图 3 双计时法流量计累积量插值时序图

5.3.8 通信信号采集能力要求

测控系统的通信信号采集能力应满足流量装置设计要求。一般条件下,流量装置设计时针对通信信号采集能力的技术指标宜包括通信速率、数据传输位数、数据传输准确性、多机通信能力。

5.4 控制单元要求

5.4.1 控制有效性要求

测控系统的控制指令内容从产生到通过信号线传向执行器过程中应保持一致且有效。其中,I/O 接口输出信号的逻辑含义应与指令产生处逻辑含义相同;通信接口输出命令字符内容应与指令产生处的控制字符内容相同;模拟量接口输出模拟量数值的引用误差一般不超过 $\pm 1\%FS$ 。

5.4.2 控制一致性要求

通过测控系统操作平台选定执行控制指令的执行器应与实际被触发执行控制操作的执行器相同。

5.4.3 防护要求

5.4.3.1 急停按钮

测控系统应设置急停按钮,其功能在测控系统工作时应实时有效。通过触发急停按钮应能不受软件单元影响直接使流量装置的动力源停止工作,并保证流量装置各部分状态满足安全要求,且保持在上述状态直至被人工复位。急停按钮应设置在操作人员活动区域。

5.4.3.2 安全风险识别

测控系统应配备必要的传感器或设备用于识别流量装置运行中常见的安全风险,并能触发测控系统报警或采取相应安全措施。一般应识别的安全风险包括:液体收集容器(例如称量容器、标准金属量器等)内液体超限、稳压容器或测量管路压力超限、被测流量计测量管路夹表器未夹紧等。

5.5 软件单元要求

5.5.1 权限管理要求

测控系统的访问权限管理应符合流量装置设计要求。访问权限一般分为三级:一般人员、管理员、程序管理员,具体权限内容如下:

- a) “一般人员”只能进行被测流量计信息的编辑及流量计测量过程操控,可访问但不能编辑测控系统的设置参数及标准设备信息,不能访问测控系统软件的编程界面;
- b) “管理员”在具备“一般人员”的所有权限的同时,具备对测控系统的设置参数及标准设备信息的编辑功能,不能访问测控系统软件的编程界面;
- c) “程序管理员”在具备“管理员”所有权限的同时,可对测控系统软件进行任意操作。

5.5.2 人机交互界面要求

5.5.2.1 信息显示要求

测控系统的信息显示内容应符合流量装置设计要求。显示信息一般应包括:测控系统软件信息、参数信息、流量装置工作状态信息、提示信息。各显示信息的要求如下所述。

- a) 测控系统软件信息宜包含软件版本、启用日期、制作单位等。
- b) 参数信息宜包含软件的功能选项、使用的预设参数、标准装置参数、被测流量计参数等。参数信息应可编辑。
- c) 流量装置工作状态信息宜包含流量装置的工艺流程、与测控系统连接的传感设备的示值、受测控系统控制的执行器的状态。其中,传感设备的示值与执行器的状态信息不允许有预设显示值,当设备处于异常工作状态时,其在测控系统上的显示信息应与其正常工作时的显示信息有所区分,且系统对传感设备示值和执行器状态信息显示的刷新周期一般不超过 1s。一般宜通过文字、颜色、图标、动画等形式显示流量装置内流体流动过程及称量容器中的液体累积程度。
- d) 提示信息宜包括操作人员进行重要操作时的提醒信息和为其提供使用帮助的辅助信息。其中,当测控系统针对流量装置操作人员所下达操作指令进行提示和确认时,提示信息应具备阻碍操作人员执行指令的机制,避免操作人员在未确认情况下直接下达操作指令;当提示信息为显示屏上的软件对话框时,退出提示信息的按钮应避免在对话框边缘,以免关闭窗口时误点其他控制选项。此外,测控系统宜具备如下提示功能:在数据位数过多无法全部显示时扩展显示内容,介绍按键和编辑窗口的功能及编辑后会产生效果。
- e) 信息编码应规范,若利用颜色进行信息编码,编码颜色的含义可参照 GB/T 4025—2010 中

4.2.1.1。若利用形状进行信息编码,形状的含义可参照 GB/T 4025—2010 中 4.2.2。

5.5.2.2 编辑操作

测控系统的操作方式应符合流量装置设计要求。一般条件下,操作部件的形式包括:软件编辑窗口、按钮、按键、开关、调节旋钮。操作部件应布局合理,操作部件的几何尺寸应大于操作触发物的触发面积。显示屏幕上有关安全功能的区域与其他操作部件间应有空余位置。重要的操作指令应由分离的操作部件或同一操作部件第二个操作发出,要有防止无意“双击”的措施。

操作部件操作方向与操作效果间关系可参照 GB/T 4205—2010 中 5.1.1。

起停止作用的操作部件位置设置可参照 GB/T 4205—2010 中 5.2。

5.5.3 软件功能要求

软件功能模块应满足流量装置设计要求。一般条件下,宜具备的功能模块包括:权限验证、参数设置、数据采集、过程控制、运算分析、数据存取、装置测试等,组成示例见附录 B。各功能模块基本功能要求如下:

- a) 权限验证模块应具备对操作人员的使用权限进行验证的功能,且验证结果应作为测控系统开放操作界面和编辑功能的依据;
- b) 参数设置模块应具备对流量装置及被测流量计信息录入和参数设置的功能;
- c) 数据采集模块应具备对信号采集接口参数的设置、通过接口采集数据并显示的功能;
- d) 过程控制模块应具备向执行器发送控制指令和接受反馈信号,并对测量过程进行控制的功能;
- e) 运算分析模块应具备对测量中涉及的分析运算进行处理的功能,且处理过程应符合相关计量技术文件要求;
- f) 数据存取模块应能存储必要试验数据及运算分析结果,存储的数据可被调用或查看;
- g) 装置测试模块应能够根据流量装置结构特点和使用要求辅助操作人员执行流量装置测量操作和测量数据运算,一般应包括:计时器测试、流量稳定性测试等功能,对含有换向器的流量装置应有流量计法换向器测试功能,必要时还应具备行程差法换向器测试功能。

5.5.4 算法要求

5.5.4.1 标准流量计算要求

软件单元的标准流量计算功能应符合流量装置设计要求。一般情况下,其计算结果与附录 C 给出的相应算法计算得到结果的相对误差绝对值应不大于流量装置扩展不确定度的 1/10。

5.5.4.2 介质物性参数取值要求

软件单元介质物性参数的取值应符合流量装置设计要求。一般情况下,其取值结果与本文件给出的相应介质物性参数取值方法得到结果用于流量测量结果计算所产生的相对偏差绝对值应不大于被测流量计最大允许误差绝对值的 1/10。水物性参数见附录 D,油品物性参数见附录 E,空气密度计算见附录 F。

5.5.4.3 被测流量计计量性能计算方法

被测流量计计量性能计算方法应符合所依据技术文件的要求。计量性能计算结果的偏差,对于采用相对形式表达的技术指标,偏差一般不超过 $\pm 0.001\%$,对于采用其他形式表达的技术指标,偏差一般不大于其最小显示位数。

5.5.5 数据存储要求

5.5.5.1 测量过程数据存储要求

软件单元对测量过程数据的存储功能应符合流量装置设计要求。一般条件下,宜具备对测量过程必要试验数据的存储和查看功能。当测量过程中发生死机、断电等异常情况时,在从异常状态恢复后,系统宜具备已完成测量过程试验数据找回功能。

5.5.5.2 原始记录数据存储要求

软件单元对测量完成后形成的原始记录存储应符合流量装置设计要求。一般条件下,宜具备存储和查看的能力,且具备时间戳。若原始记录(非检定数据信息)允许被编辑,编辑后的文档状态应留有修改痕迹。原始记录宜存储所检流量计测量周期的3倍时间且不少于4年。当测控系统发生死机、断电等异常情况时,原始记录应不丢失,且在系统恢复正常后,原始记录应可读取调用。

5.5.5.3 其他数据存储要求

软件单元中宜存储流量装置各标准器从测控系统启用日期起的历次溯源信息。其中,溯源信息应至少包括溯源证书的编号。

软件单元可具备流量装置状态文档,记录流量装置使用过程中的相关状态及对应时间。在无人为操作影响下,流量装置状态文档在测控系统使用的全生命周期中应不发生丢失。

5.5.6 原始记录要求

原始记录中包含的信息内容应符合流量装置开展检定、校准项目的计量检定规程、校准规范及流量装置设计要求。一般条件下,宜包含的信息种类包括:标准装置信息、被测流量计信息、测量条件、试验数据、测量结果。参考原始记录形式见附录G。其中,各种类信息至少应包括:

- a) 标准装置信息应包括装置名称、编号、技术参数、溯源证书;
- b) 被测流量计信息应包括名称、型号、编号、制造单位、流量范围、设置参数、测量技术依据;
- c) 测量条件信息应包括大气压力、环境湿度、环境温度、测量介质、介质物性参数及其影响参数;
- d) 试验数据信息应符合测量的技术要求,其中,应包括测量时间、测量流量、标准器示值、被测流量计示值、示值误差和重复性;
- e) 测量结果信息包含内容应符合测量技术要求,其中,具有分界流量的仪表应分别给出分界流量以上和以下的测量结果。

5.5.7 安全防护功能要求

5.5.7.1 强制停止功能要求

软件单元的强制停止功能应符合流量装置设计要求。一般条件下,宜提供强制停止按钮,按钮触发不受权限管理限制,操作人员可通过按钮使流量装置的动力源停止工作,并保证流量装置各部分状态满足其安全要求,且保持在上述状态直至被人工复位。

5.5.7.2 异常事件防护要求

软件单元对异常事件采取安全防护措施应符合流量装置设计要求。一般条件下,宜将异常事件在测控系统显示界面予以提醒,至少应对包括5.4.3.2涉及的安全风险采取处理措施,对应处理要求如下所述。

- a) 液体收集容器内液体超限处理要求:测控系统应具备液体收集容器内液体量超限预判功能,在

液体收集容器内液体达到警戒区间值时给予提醒,当液体收集容器内液体达到或超过限位值时,测控系统应自动使液体不再流入液体收集容器中,或启动液体收集容器的排水机制。

- b) 稳压容器或测量管路压力超限处理要求:测控系统应具备压力超限预判功能,在压力达到警戒区间值时给予提醒,当压力达到或超过限位值时,测控系统应自动停止流量装置增压设备的动力源,并开启预设泄压管路上的阀门。
- c) 被测流量计测量管路夹表器未加紧处理要求:对于被测流量计测量管路采用夹表器自动加紧的流量装置,测控系统在向该管路供水前应提前检查夹表器应处于加紧工作状态,若其未处于加紧状态,则不能执行供水操作并报警提示。

5.5.8 远程测量功能要求

若流量装置具备远程测量功能,测控系统应为流量装置产生具有唯一性和可标识性的网络标识。

5.6 供电单元要求

测控系统所提供电源的电压及电流应符合被供电设备的对应要求。可为测控系统配备 UPS,保证测控系统断电后工作时长不小于 10 min。

6 试验方法

6.1 一般检查

6.1.1 技术资料

依据 5.1.1 要求内容,采用目视检查法进行检查。

6.1.2 布线

依据 5.1.2 要求内容,采用目视检查法进行检查。

6.1.3 接地

用接地电阻表或接地导通电阻测试仪分别测量仪表接地体和保护接地体与大地间电阻值。

6.1.4 绝缘电阻

将测控系统电气设备电源线从电源中切断,通过绝缘电阻表或绝缘电阻测试仪测量电气设备电源线与接地体间电阻值。

6.2 计时模块

6.2.1 检测接口

采用目视检查法检查检测接口。

6.2.2 准确度

计时模块的准确度试验方法可采用如下两种试验方法中的任意一种。

a) 试验方法 1——用标准时间间隔发生器

将标准时间间隔发生器设置在脉冲时间间隔工作状态,将标准时间间隔发生器的输出端接入计时模块的计时触发信号端,将标准时间间隔发生器的时间间隔设置为 t_x ,利用标准时间间

隔发生器的输出信号触发计时模块计时的启停,分别记录 t_x 为 $t_{\min}$ 、30 s、600 s 和 $t_{\max}$ 时计时模块计时时间(若 $t_{\max}$ 小于 600 s,则 t_x 最大值为 $t_{\max}$),按公式(6)计算计时模块累计时长的相对误差,取其中的最大值作为试验结果。

注: $t_{\max}$ 为计时模块计时上限值, $t_{\min}$ 为计时模块计时下限值。

b) 试验方法 2——用时间间隔测量仪

将时间间隔测量仪设置在脉冲时间间隔工作状态。

计时模块的计时检测接口为计时同步信号产生接口时,采用计时模块检测接口的同步信号触发时间间隔测量仪启动计时,计时模块累积工作时长达到 t_x 后,采用计时模块检测接口的同步信号触发时间间隔测量仪停止计时。

计时模块的计时检测接口为计时同步信号接收接口时,通过触发信号同步触发时间间隔测量仪和计时模块启动计时,计时模块累积工作时长达到 t_x 后,通过触发信号同步触发时间间隔测量仪和计时模块停止计时。

分别记录 t_x 为 $t_{\min}$ 、30 s 和 600 s 时计时模块计时时间和时间间隔测量仪计时时间($t_{\max}$ 小于 600 s 时,则 t_x 最大值为 $t_{\max}$),按公式(6)计算计时模块累计时长的相对误差,取其中的最大值作为试验结果。

6.2.3 计时范围

使用计时模块启动计时,采用目视检查法检查计时模块的计时上限值。

6.2.4 显示分辨率

采用目视检查法检查计时模块计时时间显示值的最小位数。

6.3 信号采集单元测试

6.3.1 一般要求测试

采用目视检查法检查测控系统的信号采集接口种类与数量、测控系统识别信号来源与实际信号来源的一致性。

6.3.2 同步信号采集性能测试

6.3.2.1 将测控系统的同步信号作为时间间隔测量仪计时开始触发信号,将测控系统响应动作的输出信号作为时间间隔测量仪计时停止触发信号,测试接线方式如图 4 所示。手动触发不少于 10 次同步信号,通过时间间隔测量仪测得测控系统每一次的响应时间。

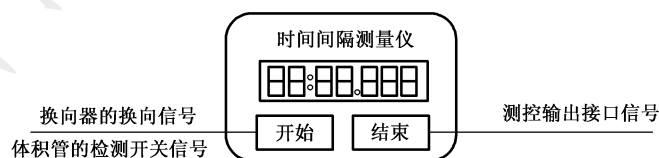


图 4 换向器/体积管同步信号采集测试接线图

6.3.2.2 对于采用图像采集设备抓拍累积流量进行实时同步法测量的流量装置,利用图像采集设备采集 2 次标准计时器显示时间,2 次采集时间间隔应不小于 30 s,2 次抓拍图像的时间戳的时间间隔与抓拍图像上标准计时器显示时间间隔按公式(6)计算相对误差。

6.3.3 计数/频率信号采集性能测试

可采用如下两种试验方法中的任意一种进行试验。

a) 试验方法 1——以脉冲信号发生器为标准器

将脉冲信号发生器输出信号接入计数/频率信号采集接口,设置脉冲信号发生器输出脉冲个数已知(不低于 1 000 个)的脉冲信号,在脉冲信号频率分别为测控系统脉冲信号可识别上限频率(不低于 10 kHz 且脉宽不超过 50 μ s)、脉冲信号可识别下限频率(脉宽为 50 μ s)、脉冲信号可识别中间频率(脉宽为 50 μ s)时,记录测控系统的脉冲计数值,并按公式(5)计算测控系统计数误差。

b) 试验方法 2——以标准计数器为标准器

将函数发生器产生的信号同时接入标准计数器和计数/频率信号采集接口,并同步触发测控系统和标准计数器对函数发生器产生信号的计数的启停,设置函数发生器产生方波信号,方波信号的高电压值和低电压值满足信号采集接口的高电平和低电平要求,在方波信号频率分别为脉冲信号可识别上限频率(不低于 10 kHz 且脉宽不超过 50 μ s)、脉冲信号可识别下限频率(脉宽为 50 μ s)、脉冲信号可识别中间频率(脉宽为 50 μ s)时,记录测控系统的脉冲计数值和标准计数器的计数值,并按公式(5)计算得到测控系统计数误差。

6.3.4 模拟信号采集性能测试

6.3.4.1 电流信号采集性能测试

根据如下方式进行电流信号采集相对示值误差和显示范围的性能测试。

a) 相对示值误差

按 JJF 1587—2016 中 7.2.4.1、7.2.4.2 或 7.2.4.3 的校准方法测得测控系统在 4 mA、8 mA、12 mA、16 mA、20 mA 直流电流测量点的误差,并根据其在流量装置中的测量功能,计算其引入的测量误差。

b) 显示范围

使多功能标准源输出 4 mA 直流电流信号,缓慢调低信号发生器电流值,观察测控系统显示电流值,当多功能标准源输出电流值调低而测控系统显示电流值不发生变化,或多功能标准源输出电流值为 0 mA 时,停止电流调节,记录测控系统最小可显示电流值;使多功能标准源输出 20 mA 直流电流信号,缓慢增加电流值,观察测控系统显示电流值,当多功能标准源输出电流值增大而测控系统显示电流值不发生变化,或信号发生器输出电流值为 24 mA 时,停止电流调节,记录测控系统最大可显示电流值,根据最小可显示电流值和最大可显示电流值确定测控系统的电流显示范围。

6.3.4.2 电压信号采集性能测试

按 JJF 1587—2016 中 7.2.3.1、7.2.3.2 或 7.2.3.3 的校准方法测得测控系统在其上限电压测量值的 20%、40%、60%、80%、100% 直流电压测量点的误差,并根据其在流量装置中的测量功能,计算其引入的测量误差。

6.3.4.3 电阻信号采集性能测试

按照图 5 所示方式将直流电阻箱接入测控系统的电阻信号采集接口。

根据电阻采集接口对应温度值的使用范围及其与电阻值间的对应关系,将直流电阻箱依次调节到各温度测试点所对应的电阻值,并使用测控系统依次测量,根据公式(5)计算所显示参数值的最大误差。

流量装置测量介质温度范围不大于 30 $^{\circ}$ C 时,在该范围中均匀选取不少于 3 个温度测试点(包括温度上下限);流量装置测量介质温度范围大于 30 $^{\circ}$ C 时,在该范围中均匀选取不少于 5 个温度测试点(包括温度上下限)。

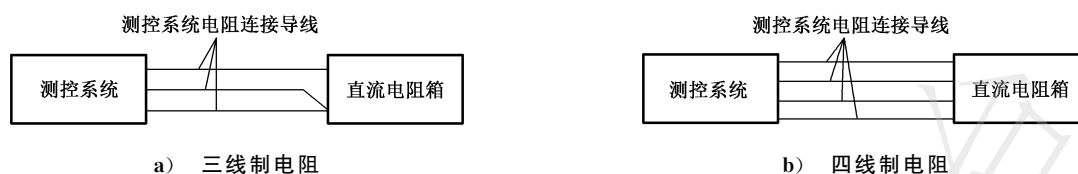


图5 电阻信号采集性能测试连接图

6.3.5 图像采集性能测试

利用测控系统的图像采集设备采集图像,检查测控系统存储图像。

6.3.6 并发信号采集性能测试

同类型多通道同时向测控系统发送信号,通道数量为测试接口可并发采集数量上限;对具备并发信号采集能力的接口逐一进行上述测试操作,记录并发通道数量和数值,计算采集准确度。

6.3.7 仪表信号采集策略测试

6.3.7.1 静态法流量装置标准器累积量采集策略测试

当采用电子秤作为标准器时:单次测试中,电子秤上的液体收集容器完成对液体的收集后,反复在电子秤上取放电子秤 1 个检定分度值~2 个检定分度值量值的砝码,观察测控系统是否进行读数稳定性判定;停止取放砝码且测控系统完成电子秤示值读数后,记录电子秤最终示值前 5 次电子秤采样示值;计算 5 次电子秤采样示值中任意两点间差值的最大值,以及 5 次电子秤采样示值与电子秤读数值的比值。

当采用标准金属量器作为标准器时:单次测试中,标准金属量器完成对液体的收集后,每隔约 3 s 从标准金属量器的进液口向标准金属量器中注入 0.5 个分度容积对应的液体,注入次数不少于 3 次,观察测控系统是否进行读数稳定性判定;停止间歇性注入液体且读取标准金属量器盛水体体积后,记录标准金属量器最终读数前 5 次采样数值;计算 5 次采样数值中任意两点间差值的最大值。

6.3.7.2 瞬时量采集策略测试

可采用如下两种试验方法中的任意一种进行测试。以电压信号采集为例,两种试验方法内容如下所述。

a) 试验方法 1

将标准周期信号源接通测控系统的电压信号采集端,设定测控系统电压信号采样周期 φ_1 ,根据 φ_1 设定标准周期信号源输出信号周期 φ_0 和信号周期个数 N_φ ,其中 $3\varphi_1 < \varphi_0 < \varphi_1 N_x / 2$, $N_x (\geq 1000)$ 为试验过程中测控系统采集数据个数,设定标准周期信号源输出信号峰-峰值为试验端口上限电压值的 50%~100%,启动测控系统电压采集功能,使标准周期信号源输出信号,记录测控系统采集数据。按公式(3)计算测控系统电压信号实际采样周期 φ_2 。

$$\varphi_2 = \varphi_0 \times N_x / N_\varphi \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中:

φ_2 ——测控系统实际采样周期;

φ_0 ——标准周期信号源输出信号周期;

N_x ——试验过程中测控系统采集数据个数;

N_φ ——标准周期信号源输出信号周期个数。

b) 试验方法 2

设定测控系统电压信号采样周期,利用函数发生器产生三角波电压信号,如图 6 所示,三角波信号周期不小于电压信号采样周期的 10 倍,每两个相邻采样周期期间的三角波电压信号差值要大于试验通道的采样分辨力,将三角波电压信号接入测控系统电压采集测试端口,测试端口应至少采集到连续 10 个单调变化数据。

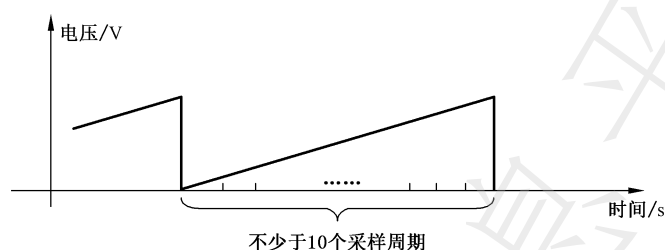


图 6 瞬时量采样周期测试时序图

6.3.7.3 累积量同步策略测试

根据累积量信号类型,采用如下方法进行测试。

- a) 当累积量为脉冲数,测控系统以开始同步信号后流量计发出的第一个脉冲作为 T_N 计时起始信号,结束同步信号后流量计发出的第一个脉冲作为 T_N 计时结束信号时,可采用如下三种测试方法的任意一种(对于其他 T_N 计时方式,可根据实际情况调整如下三种测试方法中脉冲采集和计时的时序)。

1) 测试方法 1

将测控系统的计时模块的计时触发端口与时间间隔测量仪的计时触发端口并联,信号发生器输出信号接入测控系统的脉冲信号采集端口和标准计数器,连接方式如图 7 a)所示,使信号发生器分别产生频率为 1 Hz 和 10 Hz 的脉冲信号,脉宽不低于 $50 \mu s$,利用同步信号同时触发时间间隔测量仪和测控系统启动计时,并同时触发测控系统和标准计数器采集脉冲,当脉冲累计值与测控系统工作时采集脉冲累计值相当时,利用同步信号触发标准计时器和测控系统同步停止计时,测控系统和标准计数器采集最后一个脉冲,记录时间间隔测量仪测量时间 T 、标准计数器计数值 N ,根据公式(4)计算 N 个脉冲信号对应时长,按公式(1)计算得到的标准脉冲计数值 n' ,按公式(5)计算 n' 与测控系统计算得到脉冲累计值间误差。

$$T_1 = T_N = \varphi_N \times N \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中:

φ_N —— 脉冲信号周期;

T_1 —— N 个脉冲信号对应时长。

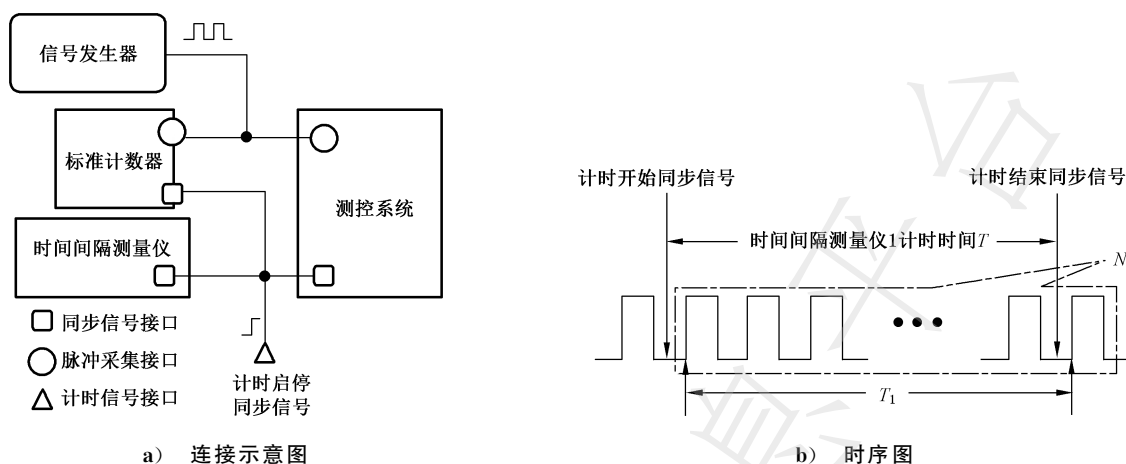


图7 测控系统脉冲累积量采集策略测试方法1

2) 测试方法2

利用脉冲信号发生器分别产生频率为1 Hz和10 Hz的脉冲信号,脉宽不低于 $50\ \mu\text{s}$,并接入标准计数器、测控系统脉冲采集接口和时间间隔测量仪2,连接方式如图8 a)所示。其中,若时间间隔测量仪2采用上升沿触发,则触发器1的Q输出端初始值为低电平,D输入端初始值为高电平。利用同步信号同时触发时间间隔测量仪1和测控系统启动计时,并同时触发标准计数器和测控系统采集脉冲,此外,触发时间间隔测量仪2在接收到第1个脉冲时开始计时,当脉冲累计值与测控系统工作时采集脉冲累计值相当时,利用同步信号触发时间间隔测量仪1和测控系统同步停止计时,并触发标准计数器和测控系统采集最后一个脉冲,此外,触发时间间隔测量仪2在接收到下一个脉冲时停止计时。根据时间间隔测量仪1计时时间 T 、时间间隔测量仪2计时时间 $T_1 = T/N$ 、标准计数器计数值 N ,按公式(1)计算得到的标准脉冲计数值 n' ,按公式(5)计算 n' 与测控系统计算得到脉冲累计值间误差。

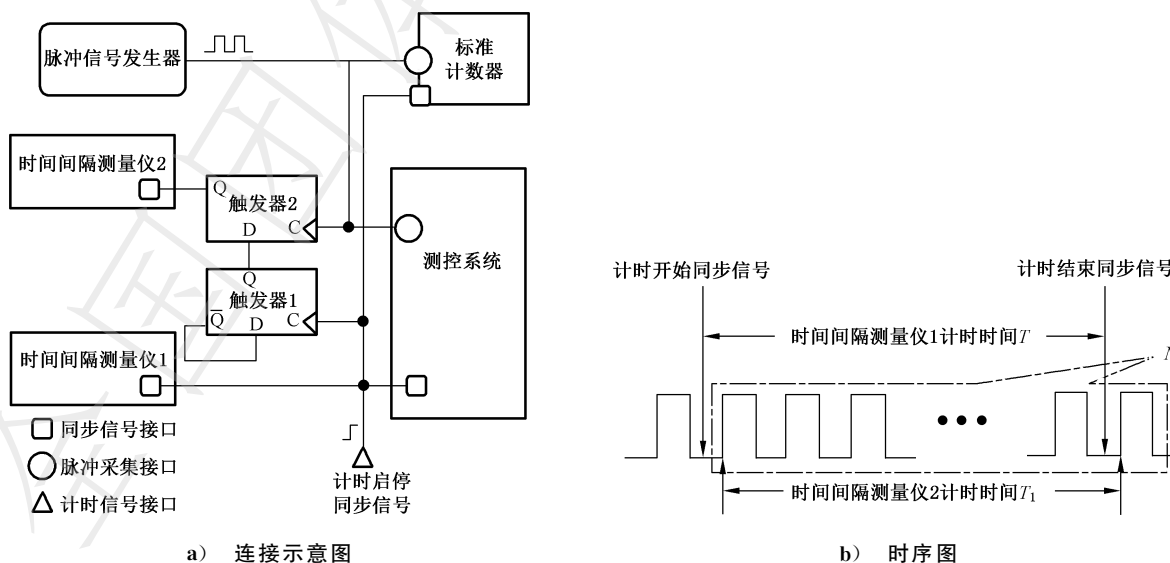


图8 测控系统脉冲累积量采集策略测试方法2

3) 测试方法3

利用脉冲信号发生器分别产生频率为1 Hz和10 Hz的脉冲信号,脉宽不低于 $50\ \mu\text{s}$,并接

入标准双计时法计数器和测控系统脉冲采集接口,连接方式如图 9 所示。利用同步信号同时触发标准双计时法计数器和测控系统采集脉冲,当脉冲累计值与测控系统工作时采集脉冲累计值相当时,利用同步信号使标准双计时法计数器和测控系统同步停止脉冲采集,记录标准双计时法计数器采集到的标准脉冲计数值 n' ,按公式(5)计算 n' 与测控系统计算得到脉冲累计值间误差。

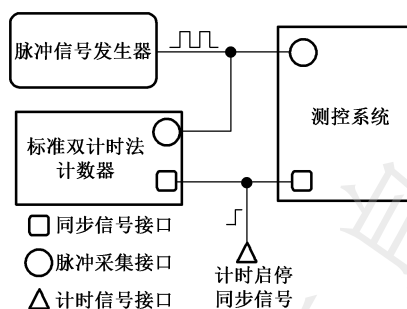


图 9 测控系统脉冲累积量采集策略测试方法 3

- b) 当累积量为通信信号(且为非启停法原理流量装置),操作测控系统向通信机发送第一次数据采集命令,同时触发标准计时器 1 开始计时,通信机向测控系统发送 Q_1 值,记录时刻 t_s ,若测控系统具备接收通信机发送时间戳功能,同时发送 t_s ,经过大于测控系统最小采样间隔时间后,操作测控系统向通信机第二次发送数据采集命令,同时触发标准计时器停止计时,得到标准计时时间 T ,通信机向测控系统发送 Q_2 值,记录时刻 t_E ,若测控系统具备接收通信机发送时间戳功能,同时发送 t_E ,按公式(2)计算得到标准累积量显示值 Q' , Q' 与测控系统计算得到同步累积值间误差。

6.3.8 通信信号采集性能测试

根据流量装置设计时对通信信号采集能力的技术要求,利用通信信号传输设备向测控系统发送不少于 10 条通信数据,记录测控系统接收信号。

6.4 控制单元测试

6.4.1 控制有效性测试

6.4.1.1 I/O 接口有效性测试

利用电压表读取到的 I/O 接口输出电平,记录接收到的逻辑电平与测控系统发送逻辑一致性。

6.4.1.2 通信接口有效性测试

利用通信信号传输设备接收测控系统发送的通信指令,记录接收到的控制指令与测控系统发送控制指令一致性。

6.4.1.3 模拟量接口有效性测试

利用数字多用表接收测控系统模拟量接口输出的模拟量数值,数字多用表接收模拟量数值作为标准值,根据公式(7)计算模拟量输出数值的引用误差。

6.4.2 控制一致性

通过测控系统操作平台控制执行器动作,记录流量装置实际执行动作的执行器与测控系统选择的执行器间一致性。

6.4.3 防护测试

6.4.3.1 急停按钮测试

按动急停按钮,记录急停按钮和流量装置状态。

6.4.3.2 安全触发机制测试

模拟触发安全触发机制,记录测控系统安全触发机制的响应情况。

6.5 软件单元测试

6.5.1 权限管理测试

采用目视检查法检查软件单元的访问权限管理情况。

6.5.2 人机交互界面测试

6.5.2.1 信息显示测试

采用目视检查法检查软件单元的信息显示。

6.5.2.2 编辑操作测试

采用目视检查法检查软件单元的编辑操作方式。

6.5.3 功能模块测试

采用目视检查法检查软件单元的功能模块组成及内容。

6.5.4 算法测试

6.5.4.1 标准流量计算测试

根据测控系统给出的流量计测量原始记录中的参数和试验数据,使用附录 C 中对应算法计算标准流量(其数据位数不低于原始记录上的标准流量值),按公式(6)计算原始记录上的标准流量值与其间相对误差。

6.5.4.2 介质参数计算测试

根据测控系统给出的流量计测量原始记录中介质的工况参数,使用附录 D、附录 E、附录 F 中对应的取值方法,计算介质相应参数值(其数据位数不低于原始记录上对应参数值),按公式(6)计算原始记录上参数值与其间相对误差。

6.5.4.3 被测流量计计量性能计算测试

根据测控系统给出的流量计测量的原始记录数据计算被测流量计计量性能,计算结果与原始记录数值偏差。

6.5.5 数据存储测试

6.5.5.1 测量过程数据存储测试

采用目视检查法检查软件单元的测量过程试验数据,重启软件单元所在计算机,启动软件单元,再次检查测量过程试验数据。

6.5.5.2 原始记录数据存储测试

采用目视检查法,检查软件单元在完成一次流量计测量后的原始记录数据。采用目视检查法检查软件单元流量计测量的原始记录,检查记录内容是否可查阅,检查记录存储形式。若存在使用所测试软件单元进行不少于三个周期以上测量的流量计,采用目视检查法检查该流量计历次测量原始记录,检查记录内容是否可查阅,检查存储形式。

6.5.5.3 其他数据存储要求

采用目视检查法检查软件单元中存储的流量装置各标准器的溯源信息,检查溯源信息的存储状态及内容。

若软件单元有其他数据文档,采用目视检查法检查软件单元其他数据文档,检查文档内容及存储周期。

6.5.6 原始记录检查

采用目视检查法检查原始记录内容。

6.5.7 安全防护功能测试

6.5.7.1 强制停止功能测试

使用软件单元进行流量计测量操作,在流量计测量过程中,点击软件单元的强制停止按钮,记录流量装置的状态。

6.5.7.2 异常事件防护测试

通过产生模拟信号触发异常事件,记录软件单元的处理方式。例如:

——模拟产生流量装置压力临界超限和超限的信号,记录软件单元的处理方式;

——若流量装置含有液体收集容器,模拟产生液体收集容器内液体超限信号,记录软件单元的处理方式。

6.5.8 远程测量功能测试

若流量装置具备远程测量功能,采用目视检查法检查流量装置在网络上的标签。

6.6 供电单元测试

采用目视检查法检查测控系统的供电单元为测控系统和设备的供电功能。若测控系统配有 UPS,在切断外部供电情况下记录 UPS 可维持系统正常工作的时间。

6.7 试验方法相关计算公式

6.7.1 误差

计算公式见公式(5)。

$$E = x - x_s \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中:

E ——误差;

x ——测得值;

x_s ——参考值。

6.7.2 相对误差

计算公式见公式(6)。

$$E_r = \frac{E}{x_s} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中:

E_r ——相对误差。

6.7.3 引用误差

计算公式见公式(7)。

$$E_f = \frac{E}{L_s} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中:

E_f ——引用误差;

L_s ——测量范围上限。

6.8 试验设备

试验方法中涉及到的试验设备的技术要求可参照表 1。

表 1 试验设备计量性能要求

序号	设备名称	设备要求	用途
1	接地电阻表	最大允许误差不超过 $\pm 10\%$	6.1.3 接地试验
2	接地导通电阻测试仪		
3	绝缘电阻表	准确度等级 10.0	6.1.4 绝缘电阻试验
4	绝缘电阻测试仪	准确度等级 10	
5	直流电阻箱	最大允许误差:小于测控系统电阻信号采集最大允许误差绝对值的 1/5; 分辨力:小于被检测控系统电阻值显示分辨力的 1/10	6.3.4.3 电阻信号采集性能测试试验
6	标准时间间隔发生器	产生时间间隔范围:不小于计时模块的计时范围; 产生时间间隔准确性:优于计时模块计时最大允许相对误差绝对值的 1/10	6.2.2 准确度试验(试验方法 1)
7	脉冲信号发生器	最大可输出脉冲数:不低于 5 000 个; 最大可输出频率:不低于 10 kHz; 最小可输出脉冲宽度:不大于 50 μs ; 脉冲幅值范围:不低于 0 V~5 V	6.3.3 计数/频率信号采集性能测试试验(试验方法 1) 6.3.7.3 累积量同步策略测试试验(测试方法 2、测试方法 3)
8	函数发生器	最大可输出方波频率:不低于 10 kHz; 最小可输出脉冲宽度:不大于 50 μs ; 信号幅值范围:不低于 0 V~5 V; 信号幅值准确性:不低于 5%; 幅值稳定性:不低于 0.5%; 三角波周期最大值:不低于 50 s; 三角波斜坡线形:不低于 0.5%	6.3.3 计数/频率信号采集性能测试试验 6.3.7.2 瞬时量采集策略测试试验(试验方法 2)

表 1 试验设备计量性能要求 (续)

序号	设备名称	设备要求	用途
9	多功能标准源	稳定性:不应影响标准数字表和测控系统读数的可靠性,并应考虑多能源的负载特性及温度系数对试验结果的影响。 若用于标准源法中标准模拟信号的产生,则产生模拟量的最大允许误差不低于测控系统模拟量测量最大允许误差绝对值的 1/3,且不超过 $\pm 0.015\%$	6.3.4 模拟信号采集性能测试试验
10	标准周期信号源	信号最小周期:不低于测控系统采样周期的 1/3; 输出信号范围:不低于测控系统输入信号采集范围	6.3.7.2 瞬时量采集策略测试试验(试验方法 1)
11	信号发生器	最大可输出频率:不低于 10 kHz; 最小可输出脉冲宽度:不大于 $50\ \mu\text{s}$; 脉冲幅值范围:不低于 0 V~5 V; 频率准确度:优于计时模块计时最大允许相对误差绝对值的 1/10,且不低于 10^{-6}	6.3.7.3 累积量同步策略测试试验(测试方法 1)
12	时间间隔测量仪	时间间隔测量范围:不小于计时模块的计时范围; 时间间隔测量准确性:优于计时模块计时最大允许相对误差绝对值的 1/10,且不低于 10^{-6}	6.2.2 准确度试验(试验方法 2) 6.3.2 同步信号采集性能测试试验 6.3.7.3 累积量同步策略测试试验(测试方法 1、测试方法 2)
13	标准计时器	显示分辨率:优于或等于 1 ms; 计时准确性:不低于 0.5×10^{-4}	6.3.2 同步信号采集性能测试试验 6.3.7.3 累积量同步策略测试试验
14	标准计数器	可识别脉冲的上限频率:不低于 10 kHz; 计数准确性:优于或等于 ± 1 个脉冲	6.3.3 计数/频率信号采集性能测试试验(试验方法 2) 6.3.7.3 累积量同步策略测试试验(测试方法 1、测试方法 2)
15	标准数字表	准确性:不低于测控系统模拟量测量最大允许误差绝对值的 1/3	6.3.4 模拟信号采集性能测试试验
16	标准双计时法计数器	可识别脉冲的上限频率:不低于 10 kHz; 最小可识别脉冲宽度:不大于 $50\ \mu\text{s}$; 计数准确性:测控系统双计时法累计脉冲采集最大允许误差的 1/10	6.3.7.3 累积量同步策略测试试验(测试方法 3)
17	通信信号传输设备	与测控系统通信信号输入接口和输出接口的通信协议及通信参数相同	6.3.8 通信信号采集性能测试试验 6.4.1.2 通信接口有效性测试试验
18	电压表	准确度:1.0 级; 测量范围:不低于测控系统 I/O 接口输出信号电压范围	6.4.1.1 I/O 接口有效性测试试验
19	数字多用表	准确性:不低于测控系统模拟量输出最大允许误差绝对值的 1/3	6.4.1.3 模拟量接口有效性测试试验

附 录 A
(资料性)
测控系统说明书编写要求

A.1 电气连接

A.1.1 布线

布线部分说明测控系统布线的标记方式,排线的颜色分类,并提供电气柜、控制柜的排线图。

A.1.2 供电

A.1.2.1 测控系统设备供电要求

说明测控系统电源接入方式,计算机、控制器等设备的供电要求等。

A.1.2.2 控制单元供电能力

说明测控系统向外接设备的供电能力。

A.1.2.3 UPS

对测控系统是否配备 UPS 以及 UPS 技术参数进行说明。

A.2 硬件系统

A.2.1 硬件系统构成

对测控系统的硬件组成、硬件规格及相关技术参数进行介绍。

A.2.2 计时模块

对计时器的工作方式进行概括性描述,并对计时器晶振输出接口及计时器测试接口相关技术内容进行介绍,其中:

- a) 对于计时器晶振,说明包括晶振的频率,晶振频率输出接口位置及连接要求等;
- b) 对于计时模块检测接口,说明包括检测接口位置,并介绍接口的计时触发方式等。

A.2.3 信号接口

说明书中应对每一类信号接口的技术参数进行描述,具体内容如下所述。

- a) 脉冲/频率接口说明的技术参数包括:接口数量、脉冲频率测量上限、最小测量脉宽、高低电平识别能力等。
- b) 模拟量接口说明的技术参数包括:接口数量、模拟量类别、采样周期、模拟量测量范围、模拟量测量准确度等。
- c) 通信接口说明的技术参数包括:接口数量、通信协议、波特率、采样周期等。
- d) 图像采集接口说明的技术参数包括:采集通道数量、数据识别能力、采样周期等。

A.2.4 控制单元

说明书应对测控系统向执行机构下达控制指令的传输方式、响应机制等进行描述。

- a) 控制指令传输方式方面,应对各指令传输方式的技术参数进行描述,其中:
 - 1) I/O 量控制接口说明技术参数包括:接口数量、高低逻辑的电气参数、高低逻辑与执行器执行状态关系、状态反馈功能情况等;
 - 2) 模拟量控制接口说明技术参数包括:接口数量、控制设备、状态反馈功能情况等;
 - 3) 通信协调控制接口说明技术参数包括:接口数量、通信协议、波特率、状态反馈功能情况等。
- b) 同步信号响应方面,是对测控系统所接收触发信号的触发方式及触发后的响应方式进行描述,其中:
 - 1) 如流量装置配有换向器,说明换向器换向信号对测控系统的触发方式以及测控系统接收触发方式后的响应方式;
 - 2) 如流量装置为体积管,说明体积管的检测开关信号触发后的测控系统响应方式。

A.3 软件系统

A.3.1 登录权限

说明软件的登录级别,以及各级别操作人员的访问及编辑权限进行说明。

A.3.2 软件功能

A.3.2.1 软件结构

对软件系统的功能及结构进行概括性描述。

A.3.2.2 功能介绍

对软件的每个功能模块的功能、使用方式、各编辑窗口或按钮的使用要求进行说明。

A.3.2.3 计算模型

对软件中采用的参数和计算模型进行说明。

A.3.2.4 数据存储

对测量过程及测量结束后的试验数据存储方式进行说明。

A.4 安全措施

A.4.1 急停按钮

对急停按钮的位置及使用方式进行说明,并对急停按钮触发后测控系统及各执行器的状态进行说明。

A.4.2 安全提醒

如软件中具备安全提示功能,需对软件中的安全提示功能进行说明。

A.4.3 安全防护

对测控系统安全防护触发方式、触发操作方式和解除处理方式进行说明。

附 录 B
(资料性)
软件结构示例

B.1 一般结构

软件单元的一般结构如图 B.1 所示。

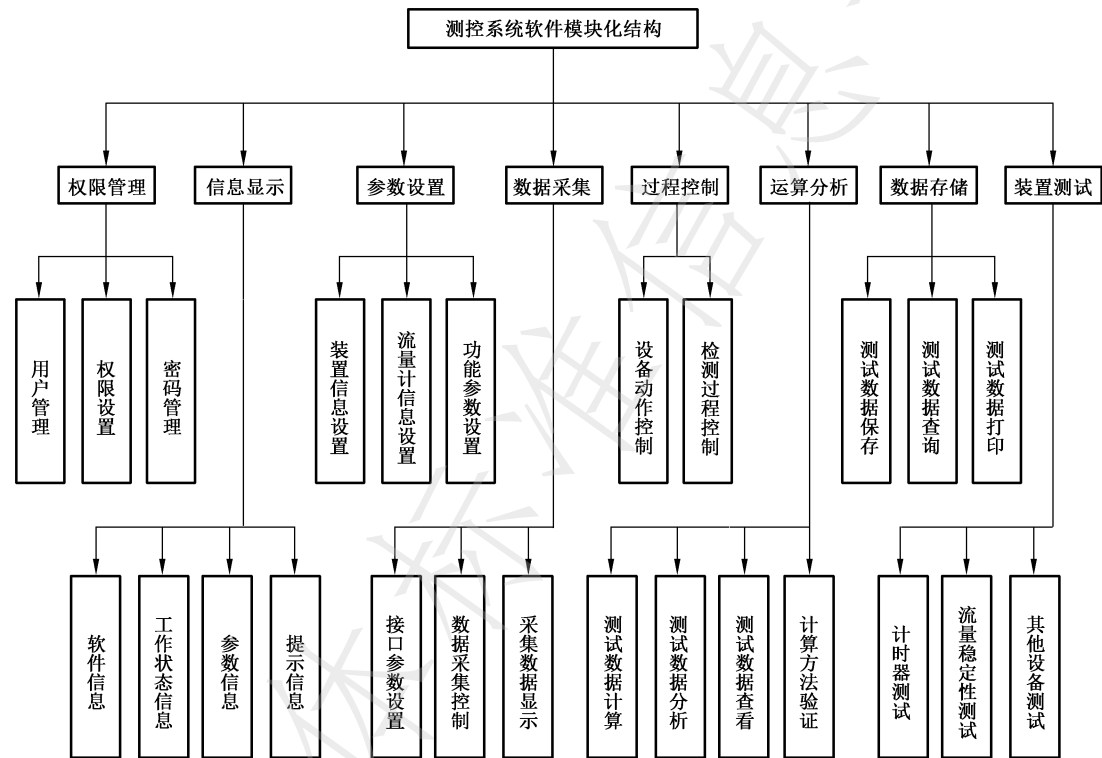


图 B.1 液体流量标准装置测控系统软件结构示例

B.2 权限管理

- B.2.1 用户管理:可增加或删除用户。
- B.2.2 权限设置:可针对不同用户分配不同的权限,按权限级别可进行不同的操作。
- B.2.3 密码管理:对用户的登录密码进行核验和修改。

B.3 信息显示

- B.3.1 软件信息:可显示系统软件版本号、启用日期、制作单位等。
- B.3.2 工作状态信息:可显示流量装置的工艺流程、设备状态等。
- B.3.3 参数信息:可显示软件的功能选项、预设参数、标准装置参数、被测流量计参数等。
- B.3.4 提示信息:可显示操作过程中的提示信息。

B.4 参数设置

- B.4.1 装置信息设置:可设置标准装置名称、测量范围、出厂编号、不确定度等级、证书编号、有效期等。

B.4.2 流量计信息设置:可设置被测流量计的名称、规格型号、制造单位、委托单位、出厂编号、流量范围、准确度等级、脉冲当量、测试依据、有效期、环境信息等。

B.4.3 功能参数设置:可设置测试的点数和次数、测试方法、测试时间、标准流量计 k 系数、温度、压力等变送器的量程范围等。如为体积管装置,还可设置测试回数及体积管的标准体积、体积管管径、体积管壁厚、体积管弹性模量、体积管体胀系数、介质膨胀系数、介质压缩系数等。

B.5 数据采集

B.5.1 接口参数设置:可设置数据采集接口的类型,如脉冲、电流、通信、开关量等。

B.5.2 数据采集控制:可通过配置的数采模块采集流量装置的设备信号,包括采集被测表的脉冲电流信号和图像、测试时间、温度压力、阀门开关状态、换向器的位置、体积管的检测开关等信号。

B.5.3 采集数据显示:把采集到的实时数据显示到软件界面上,包括温度压力、测试时间、测试状态、被测表的脉冲和电流信号值、阀门的工作状态、换向器的当前位置、泵的工作状态、体积管的工作状态等。

B.6 过程控制

B.6.1 设备动作控制:可通过配置的控制模块控制流量装置的设备,包括阀门开关、调节阀开度、泵运转、换向器动作、体积管动作等。

B.6.2 测量过程控制:可控制测量开始、测量结束、计算数据等测量过程。

B.7 运算分析

B.7.1 测试数据计算:根据相关计算公式,对原始数据进行计算,如累积质量流量、标准器累积体积流量、被测流量计累积体积流量或仪表系数等。

B.7.2 测试数据分析:根据被测流量计相对应的国家计量技术规范,对测试数据进行分析,并给出测试结果和结论。

B.7.3 测试数据查看:对已经完成的测试数据进行查看。

B.7.4 计算方法验证:输入测试时间、被测表处温度压力、标准器处温度压力、标准器值、被测表脉冲数(或电流值),能自动根据输入的参数计算出瞬时流量、标准质量、标准体积、被测表的误差或系数等结果,用以验证软件计算模块数学模型和算法的正确性。

B.8 数据存储

B.8.1 测试数据保存:对测试数据进行保存操作。

B.8.2 测试数据查询:对已经保存的测试数据进行查询查看。查询时,对输入的关键词支持模糊查询。

B.8.3 测试数据打印:对测试数据进行打印操作。

B.9 装置测试

B.9.1 计时器测试:可设定测试时间,可对计时数据进行记录和打印。

B.9.2 流量稳定性测试:可设定测试时间,可对测试数据进行记录和打印。

B.9.3 其他设备测试:有换向器的流量装置,可对换向器进行行程差法或流量计法测试,并可对测试数据进行记录和打印。如为体积管装置,可控制体积管动作,配合标定和计算体积管标准体积。

附 录 C

(资料性)

标准流量计算方法

C.1 质量法流量标准装置(称量容器与大气连通)标准质量总量和标准体积总量计算公式

C.1.1 标准质量总量

标准质量总量计算见公式(C.1):

$$Q_{sm} = C_f m \quad \text{.....(C.1)}$$

式中:

Q_{sm} ——流量装置给出的质量总量,单位为千克(kg);

C_f ——浮力修正系数, $C_f = \frac{1 - \rho_{ar}/\rho_{ref}}{1 - \rho_a/\rho} = 0.999\ 85 \frac{\rho}{\rho - \rho_a}$, 对于扩展不确定度大于或等于 0.1% 的被测流量计,且当实验室温度范围为 5℃~45℃、大气压范围为 98 kPa~106 kPa、相对湿度为 35%~95% 时,其值可采用 1.001 1;其中, ρ_{ar} 为约定的空气密度,其值为 1.2 kg/m³; ρ_{ref} 为砝码约定质量的约定密度,其值为 8 000 kg/m³; ρ 为称量容器中液体密度(kg/m³); ρ_a 为大气密度(kg/m³),计算公式见附录 F;

m ——电子秤示值,单位为千克(kg)。

注:如不致产生混淆,无须进一步明确,本文件将“累积流量”称为“总量”。

C.1.2 被测流量计处标准体积总量

被测流量计处标准体积总量计算见公式(C.2)或公式(C.3):

$$Q_{sv} = 1\ 000 C_f \frac{m}{\rho_m} \quad \text{.....(C.2)}$$

式中:

Q_{sv} ——流量装置给出的并换算到流量计处状态的体积总量,单位为升(L);

ρ_m ——被测流量计处液体密度,单位为千克每立方米(kg/m³)。

$$Q_{sv} = 1\ 000 C_f \frac{m}{\rho} [1 + \beta(\theta_m - \theta_s)] (1 - \kappa p_m) \quad \text{.....(C.3)}$$

式中:

β ——液体膨胀系数,单位为每摄氏度(℃⁻¹);

θ_m ——被测流量计处液体温度,单位为摄氏度(℃);

θ_s ——标准器处液体温度,单位为摄氏度(℃);

κ ——液体压缩系数,单位为每兆帕(MPa⁻¹);

p_m ——被测流量计处液体压力,单位为兆帕(MPa)。

C.2 容积法流量标准装置(标准量器与大气连通)被测流量计处标准体积总量计算公式

容积法流量标准装置被测流量计处标准体积总量计算见公式(C.4):

$$Q_{sv} = V_s [1 + \beta_s(\theta_s - 20)] [1 + \beta(\theta_m - \theta_s)] (1 - \kappa p_m) \quad \text{.....(C.4)}$$

式中:

V_s ——标准器(如工作量器或体积管)装置证书给出的标准容积值,单位为升(L);

β_s ——标准器材质的体膨胀系数,单位为每摄氏度(℃⁻¹)。

C.3 体积管流量标准装置被测流量计处标准体积总量计算公式

C.3.1 球式体积管

球式体积管被测流量计处标准体积总量计算见公式(C.5)：

$$Q_{sV} = V_s \left(1 + \frac{D}{E_s \cdot e} p_s \right) [1 + \beta_s (\theta_s - 20)] [1 + \beta (\theta_m - \theta_s)] [1 - \kappa (p_m - p_s)] \quad \dots\dots (C.5)$$

式中：

D —— 体积管内径,单位为毫米(mm)；

E_s —— 体积管材质的弹性模量,单位为兆帕(MPa)；

e —— 体积管壁厚,单位为毫米(mm)；

p_s —— 标准器处液体压力,单位为兆帕(MPa)。

C.3.2 带测量杆的活塞式体积管

带测量杆的活塞式体积管被测流量计处标准体积总量计算见公式(C.6)：

$$Q_{sV} = V_s \left(1 + \frac{D}{E_s \cdot e} p_s \right) [1 + 2\alpha_s (\theta_s - 20) + \alpha_r (\theta_r - 20)] [1 + \beta (\theta_m - \theta_s)] [1 - \kappa (p_m - p_s)] \quad \dots\dots (C.6)$$

式中：

α_s —— 体积管材质的线膨胀系数,单位为每摄氏度($^{\circ}\text{C}^{-1}$)；

α_r —— 测量杆材质的线膨胀系数,单位为每摄氏度($^{\circ}\text{C}^{-1}$)；

θ_r —— 测量杆温度,单位为摄氏度($^{\circ}\text{C}$)。

C.4 标准表法流量标准装置(标准流量计为脉冲输出)被测流量计处标准体积总量计算公式

标准表法流量标准装置(标准流量计为脉冲输出)被测流量计处标准体积总量计算见公式(C.7)：

$$Q_{sV} = \frac{N_s}{K_s} [1 + \beta (\theta_m - \theta_s)] [1 - \kappa (p_m - p_s)] \quad \dots\dots\dots (C.7)$$

式中：

N_s —— 检定时间内标准流量计发出的脉冲数；

K_s —— 标准流量计的仪表系数,单位为每升(L^{-1})。

C.5 标准瞬时流量计算公式

C.5.1 标准瞬时质量流量

标准瞬时质量流量计算见公式(C.8)：

$$q_{sm} = 3\,600 \times \frac{Q_{sm}}{t} \quad \dots\dots\dots (C.8)$$

式中：

q_{sm} —— 标准瞬时质量流量,单位为千克每小时(kg/h)；

t —— 测量时间,单位为秒(s)。

C.5.2 被测流量计处标准瞬时体积流量

被测流量计处标准瞬时体积流量计算见公式(C.9)：

$$q_{sV} = 3.6 \times \frac{Q_{sV}}{t} \quad \dots\dots\dots (C.9)$$

式中：

q_{sV} ——标准瞬时体积流量,单位为立方米每小时(m^3/h)。

C.6 标准流量计算公式的简化

依据流量装置开展测量流量计的准确度水平以及工况条件,可对公式(C.3)~公式(C.7)进行适当简化,对于测量所依据的检定规程或校准规范中有明确规定的应遵照执行。一般情况下,应保证由公式所引入的相对偏差不大于被测流量计最大允许误差绝对值的1/10,本文件建议的简化原则:在开展准确度等级0.5级及以下流量计测量时,

- a) 若被测流量计处与标准器处介质温差不超过 $2\text{ }^{\circ}\text{C}$,可取 $\beta=0\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$;
- b) 若标准器处介质温度不超过 $(20\pm5)^{\circ}\text{C}$,可取 $\beta_s=0\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$;
- c) 若流量计处与标准器处介质的压差小于 0.1 MPa ,可取 $\kappa=0\text{ MPa}^{-1}$ 。

附录 D

(资料性)

水物性参数计算方法

D.1 水密度计算公式

D.1.1 纯水密度随温度变化计算公式

D.1.1.1 计算公式选择

纯水(蒸馏水或去离子水)密度的计算,国际计量委员会(CIPM)推荐温度在(0~40)℃、1个大气压时,使用 Tanaka 公式或 Patterson & Morris 公式;温度在(0~95)℃(1个大气压)时,使用 IAPWS-95 状态方程。计算结果四舍五入取 3 位小数。

D.1.1.2 Tanaka 公式

纯水密度计算的 Tanaka 公式见公式(D.1):

$$\rho_{\text{Tanaka}} = a_0 \left[1 - \frac{(\theta + a_1)^2 (\theta + a_2)}{a_3 (\theta + a_4)} \right] \dots\dots\dots (D.1)$$

式中:

- ρ_{Tanaka} —— Tanaka 公式计算得到的纯水密度,单位为千克每立方米(kg/m³);
- θ —— 水温,单位为摄氏度(℃);
- a_0, a_1, a_2, a_3, a_4 —— 均为常数, $a_0 = 999.974\ 950$, $a_1 = -3.983\ 035$, $a_2 = 301.797$, $a_3 = 522\ 528.9$, $a_4 = 69.348\ 81$ 。

D.1.1.3 Patterson & Morris 公式

纯水密度计算的 Patterson & Morris 公式见公式(D.2):

$$\rho_{\text{P\&M}} = \rho_0 [1 - b_1(\theta - \theta_0) - b_2(\theta - \theta_0)^2 - b_3(\theta - \theta_0)^3 - b_4(\theta - \theta_0)^4 - b_5(\theta - \theta_0)^5] \dots\dots (D.2)$$

式中:

- $\rho_{\text{P\&M}}$ —— Patterson & Morris 公式计算得到的纯水密度,单位为千克每立方米(kg/m³);
- ρ_0 —— 水密度最大值,其值为 999.973 58 kg/m³;
- θ_0 —— 密度最大时的温度,其值为 3.981 8 ℃;
- b_1, b_2, b_3, b_4, b_5 —— 均为常数, $b_1 = 7.013\ 4 \times 10^{-8}$, $b_2 = 7.926\ 504 \times 10^{-6}$, $b_3 = -7.575\ 677 \times 10^{-8}$, $b_4 = 7.314\ 894 \times 10^{-10}$, $b_5 = -3.596\ 458 \times 10^{-12}$ 。

D.1.1.4 IAPWS-95 状态方程

纯水密度计算的 IAPWS-95 状态方程见公式(D.3):

$$\rho_{\text{IAPWS}} = c_0 \left(\frac{1 + c_1 \theta_n + c_2 \theta_n^2 + c_3 \theta_n^3}{1 + c_4 \theta_n + c_5 \theta_n^2} \right) \dots\dots\dots (D.3)$$

式中:

- ρ_{IAPWS} —— IAPWS-95 状态方程计算得到的纯水密度,单位为千克每立方米(kg/m³);
- θ_n —— 归一化温度, $\theta_n = \theta/100$;
- $c_0, c_1, c_2, c_3, c_4, c_5$ —— 均为常数, $c_0 = 999.843\ 82$, $c_1 = 1.463\ 938\ 6$, $c_2 = -0.015\ 505$, $c_3 = -0.030\ 977\ 7$, $c_4 = 1.457\ 209\ 9$, $c_5 = 0.064\ 893\ 1$ 。

D.1.2 纯水密度随压力变化计算

纯水密度随压力变化计算见公式(D.4)：

$$\rho_w = \frac{\rho_\theta}{1 - \kappa_w p_w} \quad \dots\dots\dots (D.4)$$

式中：

ρ_θ ——大气压下纯水(蒸馏水或去离子水)在温度为 θ 时的密度,单位为千克每立方米(kg/m^3)；

κ_w ——纯水等温压缩系数,单位为每兆帕(MPa^{-1})；

p_w ——纯水的压力,单位为兆帕(MPa)；

ρ_w ——纯水(蒸馏水或去离子水)在压力为 p_w 时的密度,单位为千克每立方米(kg/m^3)。

D.1.3 流量装置用水密度的确定

D.1.3.1 流量装置用水为无污染的自来水

D.1.3.1.1 用离线水密度计和温度计,在流量装置工作的实际水温范围内,选取 n ($n \geq 3$) 个温度点,对温度和密度同时进行测量,得到 θ_i 和 $(\rho_m)_i$ 。

D.1.3.1.2 按公式(D.1)、公式(D.2)或公式(D.3)计算 θ_i 温度时纯水的密度 $(\rho_f)_i$ 。

D.1.3.1.3 按公式(D.5)计算单个温度点的水密度修正系数 $(C_\rho)_i$ ：

$$(C_\rho)_i = (\rho_m)_i / (\rho_f)_i \quad \dots\dots\dots (D.5)$$

D.1.3.1.4 按公式(D.6)计算流量装置用水密度的修正系数 C_ρ ：

$$C_\rho = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (C_\rho)_i \quad \dots\dots\dots (D.6)$$

D.1.3.1.5 按公式(D.7)确定流量装置容器(与大气连通)中水的密度 ρ ：

$$\rho = C_\rho \cdot \rho_f \quad \dots\dots\dots (D.7)$$

D.1.3.1.6 按公式(D.8)确定被检表处水的密度 ρ_m ：

$$\rho_m = C_\rho \cdot \rho_w \quad \dots\dots\dots (D.8)$$

D.1.3.2 流量装置用水成分特殊

若流量装置用水含特殊成分导致所用水的密度特性不稳定或密度特性与纯水的密度特性差异较大,其密度用离线密度计实际测量得到。若需要考虑管线压力影响,可近似采用公式(D.4)进行修正。

D.2 水的膨胀系数

水的膨胀系数 β_w 见表 D.1。

表 D.1 水的体膨胀系数表

$\beta_w (\times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1})$

$\theta/^\circ\text{C}$	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
5	16.0	17.6	19.1	20.7	22.2	23.7	25.2	26.7	28.3	29.8
6	31.3	32.8	34.3	35.7	37.2	38.7	40.2	41.7	43.1	44.6
7	46.0	47.5	48.9	50.4	51.8	53.3	54.7	56.1	57.6	59.0
8	60.4	61.8	63.2	64.6	66.0	67.4	68.8	70.2	71.6	73.0

表 D.1 水的体膨胀系数表 (续)

 $\beta_w (\times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1})$

$\theta/^\circ\text{C}$	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
9	74.4	75.7	77.1	78.5	79.8	81.2	82.5	83.9	85.2	86.6
10	87.9	89.3	90.6	91.9	93.3	94.6	95.9	97.2	98.5	99.9
11	101.2	102.5	103.8	105.1	106.4	107.6	108.9	110.2	111.5	112.8
12	114.0	115.3	116.6	117.8	119.1	120.4	121.6	122.9	124.1	125.4
13	126.6	127.9	129.1	130.3	131.6	132.8	134.0	135.2	136.4	137.7
14	138.9	140.1	141.3	142.5	143.7	144.9	146.1	147.3	148.5	149.7
15	150.8	152.0	153.2	154.4	155.6	156.7	157.9	159.1	160.2	161.4
16	162.5	163.7	164.8	166.0	167.1	168.3	169.4	170.6	171.7	172.8
17	174.0	175.1	176.2	177.3	178.5	179.6	180.7	181.8	182.9	184.0
18	185.2	186.3	187.4	188.5	189.6	190.7	191.7	192.8	193.9	195.0
19	196.1	197.2	198.3	199.3	200.4	201.5	202.5	203.6	204.7	205.7
20	206.8	207.9	208.9	210.0	211.0	212.1	213.1	214.2	215.2	216.3
21	217.3	218.3	219.4	220.4	221.4	222.5	223.5	224.5	225.5	226.6
22	227.6	228.6	229.6	230.6	231.6	232.7	233.7	234.7	235.7	236.7
23	237.7	238.7	239.7	240.7	241.7	242.6	243.6	244.6	245.6	246.6
24	247.6	248.6	249.5	250.5	251.5	252.5	253.4	254.4	255.4	256.3
25	257.3	258.3	259.2	260.2	261.1	262.1	263.0	264.0	264.9	265.9
26	266.8	267.8	268.7	269.7	270.6	271.5	272.5	273.4	274.3	275.3
27	276.2	277.1	278.1	279.0	279.9	280.8	281.7	282.7	283.6	284.5
28	285.4	286.3	287.2	288.1	289.1	290.0	290.9	291.8	292.7	293.6
29	294.5	295.4	296.3	297.2	298.0	298.9	299.8	300.7	301.6	302.5
30	303.4	—	—	—	—	—	—	—	—	—

D.3 水的压缩系数

D.3.1 水的压缩系数表

水的压缩系数 κ_w 见表 D.2。

表 D.2 水的压缩系数表

p 为 0.3 MPa~0.5 MPa

$\theta/^\circ\text{C}$	0	10	20	30	40	50
$\kappa_w (\times 10^{-6} \text{ MPa}^{-1})$	508	481	461	448	442	440

D.3.2 水的压缩系数计算公式

D.3.2.1 IAPWS-95 给出的水的压缩系数计算公式见公式(D.9):

$$\kappa_w = d_0 \left(\frac{1 + d_1 \theta_n + d_2 \theta_n^2 + d_3 \theta_n^3}{1 + d_4 \theta_n} \right) \dots\dots\dots (D.9)$$

式中:

 θ_n ——归一化温度, $\theta/100\text{ }^{\circ}\text{C}$; d_0, d_1, d_2, d_3, d_4 ——均为常数, $d_0 = 5.088\ 21 \times 10^{-4}$, $d_1 = 1.263\ 941\ 8$, $d_2 = 0.266\ 026\ 9$, $d_3 = 0.373\ 483\ 8$, $d_4 = 2.020\ 524\ 2$ 。

D.3.2.2 ISO 8222:2020 给出的水的压缩系数计算公式见公式(D.10):

$$\kappa_w = \frac{1 \times 10^{-2}}{19.69 + 0.141\ 8\theta - 1.934 \times 10^{-3}\theta^2 + 5.866 \times 10^{-6}\theta^3} \dots\dots\dots (D.10)$$

附 录 E

(资料性)

油品物性参数计算方法

E.1 油品标准密度的确定

E.1.1 按 GB/T 4756—2015 对油品进行取样。

E.1.2 按 GB/T 1884—2000 测量油品的温度和视密度。

E.1.3 按 GB/T 1885—1998 确定油品的标准密度 ρ_{20} 和 15 °C 的密度 ρ_{15} 。

注：本文件提及的油品系指原油或液体石油产品。

E.2 油品密度计算方法

油品满足下列条件 $-50\text{ °C} \leq \theta \leq 150\text{ °C}$, $0\text{ MPa} \leq p_b \leq 10.34\text{ MPa}$, $610.6\text{ kg/m}^3 \leq \rho_{15} \leq 1\text{ 163.5 kg/m}^3$, $4.14 \times 10^{-4}\text{ °C}^{-1} \leq \beta_{15} \leq 1.67 \times 10^{-3}\text{ °C}^{-1}$ 时, 密度与温度和压力的关系式见公式(E.1):

$$\rho_{\theta} = \rho_{15} \exp[-\beta_{15}(\theta - 15) - 0.8\beta_{15}^2(\theta - 15)^2](1 + \kappa p_b) \quad \dots\dots\dots (E.1)$$

式中:

ρ_{θ} ——温度为 θ 、压力为 p 时油品的密度, 单位为千克每立方米(kg/m^3);

p_b ——油品的表压, 单位为兆帕(MPa);

β_{15} ——15 °C 时油品的膨胀系数, 单位为每摄氏度(°C^{-1})。

β_{15} 按公式(E.2)计算:

$$\beta_{15} = \frac{k_0 + k_1 \rho_{15}}{\rho_{15}^2} \quad \dots\dots\dots (E.2)$$

式中 k_0 、 k_1 为常数, 其值与油品类型有关, 表 E.1 为常见油品的 k_0 、 k_1 值。

表 E.1 常见油品的 k_0 、 k_1 值

油品类型	$\rho_{15}/(\text{kg/m}^3)$	$k_0/[\text{kg}^2/(\text{m}^6 \cdot \text{°C})]$	$k_1/[\text{kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{°C})]$
汽油	654~779	346.422 78	0.438 84
喷气燃料	779~839	594.541 80	0.000 0
燃油	839~1 075	186.969 6	0.486 18
原油	610.6~1 163.5	613.972 226	0.000 0

E.3 油品压缩系数计算公式及适用条件

油品的温度范围为 $-30\text{ °C} \sim 90\text{ °C}$, 15 °C 的密度范围为 $638\text{ kg/m}^3 \sim 1\text{ 074 kg/m}^3$ 时, 其压缩系数按公式(E.3)计算:

$$\kappa_{\theta} = 1 \times 10^{-3} \exp \left[A + B\theta + \frac{1 \times 10^6}{\rho_{15}^2} (C + D\theta) \right] \quad \dots\dots\dots (E.3)$$

式中:

κ_{θ} ——温度为 θ 时油品的压缩系数, 单位为每兆帕(MPa^{-1});

θ ——油品温度, 单位为摄氏度(°C);

ρ_{15} ——油品 15 °C 的密度, 单位为千克每立方米(kg/m^3);

A, B, C, D ——均为常数, $A = -1.620\ 80$, $B = 2.159\ 2 \times 10^{-4}$, $C = 0.870\ 96$, $D = 4.209\ 2 \times 10^{-3}$ 。

注：公式(E.3)不适用于润滑油。

E.4 油品膨胀系数计算

油品膨胀系数按公式(E.4)计算：

$$\beta_{\theta} = \frac{1}{\Delta\theta} \left(\frac{\rho_{\theta}}{\rho_{\theta+\Delta\theta}} - 1 \right) \dots\dots\dots (E.4)$$

式中：

β_{θ} ——油品温度为 θ 时的膨胀系数,单位为每摄氏度($^{\circ}\text{C}^{-1}$)；

$\rho_{\theta+\Delta\theta}$ ——油品温度为 $(\theta + \Delta\theta)$,表压值为 p 时的密度, kg/m^3 ,一般用 $\Delta\theta = 1\ ^{\circ}\text{C}$ 计算。

附 录 F (资料性) 空气密度计算方法

F.1 CIPM—2007 湿空气密度公式

F.1.1 空气密度计算公式

当空气处于下列条件 $60 \text{ kPa} \leq p_a \leq 110 \text{ kPa}$, $15 \text{ }^\circ\text{C} \leq \theta \leq 27 \text{ }^\circ\text{C}$ 时, 密度计算公式按公式(F.1)。

$$\rho_a = \frac{p_a M_a}{ZRT_a} \left[1 - x_v \left(1 - \frac{M_v}{M_a} \right) \right] \quad \dots\dots\dots (\text{F.1})$$

式中:

ρ_a ——湿空气密度, 单位为千克每立方米(kg/m^3);

p_a ——大气压力, 单位为千帕(kPa);

M_a ——干空气的摩尔质量, 若二氧化碳的摩尔分数 $x_{\text{CO}_2} = 0.0004$, 则其值为 28.96546 g/mol ;

Z ——压缩系数, 无量纲;

R ——摩尔气体常数, 其值为 $8.314462618 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$;

T_a ——湿空气的热力学温度, 单位为开尔文(K);

x_v ——水蒸气的摩尔分数, 无量纲;

M_v ——水的摩尔质量, 其值为 18.01528 g/mol 。

注: 空气密度及浮力修正在流量装置的不确定度评估中所占权重较小, 在一般使用条件下, 可将 CIPM—2007 公式的空气温度使用范围扩展到流量装置环境温度范围, 一般不超过 $5 \text{ }^\circ\text{C} \sim 40 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

将各常数带入到公式(F.1)中得到公式(F.2)。

$$\rho_a = 3.483744 \times \frac{p_a}{ZT_a} (1 - 0.3780x_v) \quad \dots\dots\dots (\text{F.2})$$

F.1.2 水蒸气的摩尔分数计算

水蒸气的摩尔分数计算公式按公式(F.3)。

$$x_v = h_r \cdot f(p, \theta_a) \cdot \frac{p_{sv}(T_a)}{p} \quad \dots\dots\dots (\text{F.3})$$

式中:

h_r ——用小数表示的相对湿度;

$f(p, \theta_a)$ ——增强因子, 无量纲;

$p_{sv}(T_a)$ ——湿空气的饱和蒸气压, 单位为千帕(kPa)。

F.1.3 增强因子计算

增强因子计算公式按公式(F.4)。

$$f(p_a, \theta_a) = \alpha + \beta p_a + \gamma \theta_a^2 \quad \dots\dots\dots (\text{F.4})$$

其中, 湿空气的温度 θ_a 以 $^\circ\text{C}$ 为单位; α 、 β 、 γ 为增强因子的常用参数, 推荐值为:

$\alpha = 1.00062$, $\beta = 3.14 \times 10^{-5} \text{ kPa}^{-1}$, $\gamma = 5.6 \times 10^{-7} \text{ }^\circ\text{C}^{-2}$ 。

F.1.4 湿空气的饱和蒸气压计算

湿空气的饱和蒸气压计算公式按公式(F.5)。

$$p_{sv}(T_a) = 1 \times 10^{-3} \exp\left(A_a T_a^2 + B_a T_a + C_a + \frac{D_a}{T_a}\right) \dots\dots\dots (F.5)$$

其中, A_a 、 B_a 、 C_a 、 D_a 为饱和状态下蒸气压的常用参数, 推荐值为:

$$A_a = 1.237\ 884\ 7 \times 10^{-5}\ K^{-2}, B_a = -1.912\ 131\ 6 \times 10^{-2}\ K^{-1}, C_a = 33.937\ 110\ 47, D_a = -6.343\ 164\ 5 \times 10^3\ K。$$

F.1.5 压缩系数计算

压缩系数计算公式按公式(F.6)。

$$Z = 1 - \frac{p_a}{T_a} [a_5 + a_6 \theta_a + a_7 \theta_a^2 + (b_6 + b_7 \theta_a) x_v + (c_6 + c_7 \theta_a) x_v^2] + \frac{p_a^2}{T_a^2} (d_5 + d_6 x_v^2) \dots\dots\dots (F.6)$$

其中, a_5 、 a_6 、 a_7 、 b_6 、 b_7 、 c_6 、 c_7 、 d_5 、 d_6 为压缩系数的常用参数, 推荐值如表 F.1 所示。

表 F.1 压缩系数计算公式中常数的推荐值

常数	推荐值
a_5	$1.581\ 23 \times 10^{-3}\ K/kPa$
a_6	$-2.933\ 1 \times 10^{-5}\ kPa^{-1}$
a_7	$1.104\ 3 \times 10^{-7}\ K^{-1} \cdot kPa^{-1}$
b_6	$5.707 \times 10^{-3}\ K/kPa$
b_7	$-2.051 \times 10^{-5}\ kPa^{-1}$
c_6	$1.989\ 8 \times 10^{-1}\ K/kPa$
c_7	$-2.376 \times 10^{-3}\ kPa^{-1}$
d_5	$1.83 \times 10^{-5}\ K^2/kPa^2$
d_6	$-0.765 \times 10^{-2}\ K^2/kPa^2$

F.2 湿空气密度近似计算

根据 JJG 99—2022, 湿空气密度近似计算公式按公式(F.7)。

$$\rho_a = \frac{3.484\ 8p - 0.009h_r \times \exp(0.061\theta)}{273.15 + \theta} \dots\dots\dots (F.7)$$

其中, 相对湿度用百分比表示(例如, 相对湿度为 50%, 公式中 h_r 的值为 50)。当 $90\ kPa < p < 110\ kPa$, $10\ ^\circ C < \theta < 30\ ^\circ C$, $h_r < 80\ %$ 时, 公式(F.7)的相对不确定度为 2×10^{-4} 。

附录 G
(资料性)
原始记录参考格式

原始记录格式可参考表 G.1 和表 G.2。

表 G.1 科里奥利质量流量计检定记录(示例)

(质量法,示值误差,脉冲输出)

送检单位：		传感器型号：		传感器编号：		公称通径：								
制造单位：		变送器型号：		变送器编号：		供电电源：								
检定依据：JJG 1038—2008		环境温度：		相对湿度：		大气压力：								
检定流量范围：(~) t/h		准确度等级：		检定地点：		流水号：								
计量标准	名称	测量范围		不确定度		有效期至								
	水流量标准装置						其他条件是否符合要求 ☐ 是 ☐ 否 原因：							
主要计量 标准器具	名称	编号	不确定度		溯源单位		有效期至							
	静态质量法水流量标准装置						☐ 是 ☐ 否 原因：							
水密度计						☐ 是 ☐ 否 原因：								
检定项目及结论														
1.标识和铭牌： ☐ 合格 ☐ 不合格； 2.外观： ☐ 合格 ☐ 不合格； 3.保护功能： ☐ 合格 ☐ 不合格； 4.密封性： ☐ 合格 ☐ 不合格； 5.准确度等级和重复性：														
流量点		标准装置数据			流量计数数据			检定条件						
流量/(t/h)	次序	测量时间 t_{ij}/s	介质压力 p_{ij}/MPa	介质温度 $\theta_{ij}/^{\circ}C$	介质密度 $\rho_{ij}/(kg/m^3)$	秤示值 m_{ij}/kg	实际质量 $(Q_s)_{ij}/kg$	瞬时流量 $(q_v)_{ij}/(t/h)$	脉冲数 N_{ij}	累积质量 Q_{ij}/kg	示值误差 $E_{ij}/\%$ $E_i/\%$		重复性 $(E_r)_{ij}/\%$	检定介质：水
	1													介质温度：(~) $^{\circ}C$
2														介质压力：(~)MPa
3														空气密度： $q_{max} =$ kg/m ³
1														t/h
2														Hz
3														$f_{max} =$ kg ⁻¹
1														K 系数：
2														铭牌系数：
3														原系数：
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	新系数：
检定结果	示值误差：		重复性：		检定结论：		级		证书编号：					

第 共 页

(体积管法,示值误差)

表 G.2 液体容积式流量计检定记录(示例)

送检单位:		器具名称:		型号:		编号:																	
制造单位:		原仪表系数 K_0 :		公称通径:		输出方式:																	
检定依据:		环境温度:		相对湿度:		大气压力:																	
检定流量范围:		检定地点:		流水号:		证书编号:																	
计量标准		名称		测量范围		不确定度		证书编号		有效期至		其他条件是否符合要求											
												☐ 是 ☐ 否 原因:											
主要计量		装置名称		型号		编号		不确定度		溯源单位		证书编号		有效期至		是否符合要求							
标准器及		球型体积管														☐ 是 ☐ 否 原因:							
介质信息		流量范围/ (L/min)		标准容积/ L		内径/mm		壁厚/mm		弹性模量/ MPa		膨胀系数/ $^{\circ}\text{C}^{-1}$		介质名称		试验温度/ $^{\circ}\text{C}$		视密度/ (kg/m^3)		标准密度 $\rho_{20}/$ (kg/m^3)		15 $^{\circ}\text{C}$ 密度 $\rho_{15}/$ (kg/m^3)	
检定项目及结论																							
1.铭牌和标识: ☐ 合格 ☐ 不合格; 2.外观: ☐ 合格 ☐ 不合格; 3.密封性: ☐ 合格 ☐ 不合格; 4.误差及重复性:																							
流量点		标准装置数据										流量计数			计算结果								
流量/ (L/min)		检定 时间 t_{ij}/s	进口 温度 $\theta_{s1}/^{\circ}\text{C}$	出口 温度 $\theta_{s2}/^{\circ}\text{C}$	进口 压力 p_{s1}/MPa	出口 压力 p_{s2}/MPa	压缩 系数 κ/MPa^{-1}	工况 密度 $\rho/(\text{kg}/\text{m}^3)$	膨胀 系数 $\beta/^{\circ}\text{C}^{-1}$	累积 流量 $(Q_s)_{ij}/\text{L}$	脉冲数 N_{ij}	温度 $\theta_m/^{\circ}\text{C}$	压力 p_m/MPa	累积 流量 Q_{ij}/L	示值误差		重复性						
																$E_{ij}/\%$	$E_i/\%$	$(E_r)_i/\%$					
1																							
2																							
3																							
1																							
2																							
3																							
...																							
检定结果		示值误差 $E =$										重复性 $E_r =$			检定结论: 级								

参 考 文 献

- [1] GB/T 1884—2000 原油和液体石油产品密度实验室测定法(密度计法)
- [2] GB/T 1885—1998 石油计量表
- [3] GB/T 4025—2010 人机界面标志标识的基本和安全规则 指示器和操作器件的编码规则
- [4] GB/T 4026—2019 人机界面标识的基本和安全规则 设备端子、导体终端和导体的标识
- [5] GB/T 4205—2010 人机界面标志标识的基本和安全规则 操作规则
- [6] GB/T 4756—2015 石油液体手工取样方法
- [7] GB/T 9109.5—2017 石油和液体石油产品动态计量 第5部分:油量计算
- [8] GB/T 15479—1995 工业自动化仪表绝缘电阻、绝缘强度技术要求和试验方法
- [9] GB/T 17611 封闭管道中流体流量的测量 术语和符号
- [10] GB/T 17612—1998 封闭管道中液体流量的测量 称重法
- [11] GB/T 17613.1—1998 用称量法测量封闭管道中的液体流量装置的检验程序 第一部分:静态称重系统
- [12] GB/T 17286.3—2010 液态烃动态测量 体积计量流量计检定系统 第3部分:脉冲插入技术
- [13] GB 19517 国家电气设备安全技术规范
- [14] GB/T 21450—2008 原油和石油产品 密度在 $638 \text{ kg/m}^3 \sim 1\,074 \text{ kg/m}^3$ 范围内的烃压缩系数
- [15] GB/T 24343—2009 工业机械电子设备 绝缘电阻试验规范
- [16] GB/T 27759—2011 流体流量测量 不确定度评定程序
- [17] GB/T 42555—2023 计量器具控制软件的通用要求
- [18] GB 50065 交流电气装置的接地设计规范
- [19] GB 50650 石油化工装置防雷设计规范
- [20] JJG 99—2022 砝码
- [21] JJG 124—2005 电流表、电压表、功率表及电阻表
- [22] JJG 164 液体流量标准装置
- [23] JJG 209 体积管
- [24] JJG 238—2018 时间间隔测量仪
- [25] JJG 366—2004 接地电阻表
- [26] JJG 617—1996 数字温度指示调节仪
- [27] JJG 622—1997 绝缘电阻表(兆欧表)
- [28] JJG 643 标准表法流量标准装置
- [29] JJG 722—2018 标准数字时钟
- [30] JJG 840—2015 函数发生器检定规程
- [31] JJG 984—2004 接地导通电阻测试仪
- [32] JJG 1003 流量积算仪
- [33] JJG 1038—2008 科里奥利质量流量计
- [34] JJF 1048—1995 数据采集系统校准规范
- [35] JJF 1182 计量器具软件测评指南
- [36] JJF 1638—2017 多功能标准源校准规范
- [37] JJF 1902—2021 时间间隔发生器校准规范

- [38] SH/T 3552—2021 石油化工电气工程施工及验收规范
- [39] SJ/T 11385—2008 绝缘电阻测试仪通用规范
- [40] ISO 8222:2020 Petroleum measurement systems—Calibration—Volumetric measures, proving tanks and field measures (including formulae for properties of liquids and materials)
- [41] ISO 8316:1987 Measurement of liquid flow in closed conduits—Method by collection of the liquid in a volumetric tank
- [42] API MPMS 11.1 Manual of Petroleum Measurement Standards Chapter 11—Physical Properties Data, Section 1—Temperature and Pressure Volume Correction Factors for Generalized Crude Oils, Refined Products, and Lubricating Oils
- [43] OIML R111-1 Weight of classes $E_1, E_2, F_1, F_2, M_1, M_{1-2}, M_2, M_{2-3}$ and M_3 Part 1: Metrological and technical requirements
- [44] OIML D28 Conventional value of result of weighing in air
- [45] IAPWS R6-95(2018) Revised Release on the IAPWS Formulation 1995 for the Thermodynamic Properties of Ordinary Water Substance for General and Scientific Use
- [46] BATISTA E, PATON R. The selection of water property formulae for volume and flow calibration[J]. Metrologia, 2007, 44(6): 453-463.
- [47] PICARD A, DAVIS RS, GLASER M, *et al.* Revised formula for the density of moist air (CIPM-2007)[J]. Metrologia, 2008, 45(2): 149-155.
-