

中华人民共和国工业和信息化部 机械计量技术规范

JJFZ (机械) XXXX-XXXX

小型锅炉储水系统容积校准规范

Specification for the Calibration of the Volume of Small - scale Boiler Water
Storage Systems

(报批稿)

2026-**-**发布

2026-**-**实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

小型锅炉储水系统容积校准规范

Specification for the Calibration of the Volume of Small
- scale Boiler Water Storage Systems

JJFZ (机械)
XXXX-XXXX

归口单位：全国机械汽车专业计量技术委员会

主要起草单位：沈阳国仪检测技术有限公司

中国特种设备检测研究院

沈阳特种设备检测研究院

河南省锅炉压力容器检验技术科学研究院

参加起草单位：机械工业第二十四计量测试中心站

国家仪器仪表元器件质量检验检测中心

山东省特种设备检验研究院集团有限公司

本规范委托全国机械汽车专业计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

倪宏祥	沈阳国仪检测技术有限公司
李洪伟	沈阳国仪检测技术有限公司
孙 明	中国特种设备检测研究院
丁占武	沈阳特种设备检测研究院
赵向南	河南省锅炉压力容器检验技术科学研究院

参加起草人：

张文博	机械工业第二十四计量测试中心站
李中宇	国家仪器仪表元器件质量检验检测中心
诸海博	国家仪器仪表元器件质量检验检测中心
付明东	机械工业第二十四计量测试中心站
朱 波	山东省特种设备检验研究院集团有限公司

目 录

引言.....	II
1 范围.....	1
2 引用文件.....	1
3 术语和计量单位.....	1
4 概述.....	1
5 计量特性.....	2
5.1 锅炉储水系统容积偏差.....	2
5.2 重复性.....	2
6 校准条件.....	2
6.1 环境条件.....	3
6.2 校准用标准器及配套设备.....	3
7 校准项目和校准方法.....	3
7.1 校准项目.....	3
7.2 校准方法.....	3
8 校准结果.....	6
9 复校时间间隔.....	7
附录 A 校准记录参考格式.....	8
附录 B 校准证书内页参照格式.....	9
附录 C 容积温度修正公式.....	10
附录 D 体积测量法测量锅炉储水系统容积不确定度评定示例.....	11
附录 E 质量测量法测量锅炉储水系统容积不确定度评定示例.....	14
附录 F 流量计测量法测量锅炉储水系统容积不确定度评定示例.....	16

引言

本文件按照 JJF 1071《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001《通用计量术语及定义》、JJF 1059.1《测量不确定度的评定与表示》共同构成支撑本规范制定工作的基础性系列规范。

本规范为首次发布。

小型锅炉储水系统容积校准规范

1 范围

本规范规定了小型锅炉储水系统容积的校准方法。其它同类设备的容积校准可参照使用。

2 引用文件

本规范引用下列文件：

JJF1001-2011 通用计量术语及定义

JJF1059.1-2012 测量不确定度的评定与表示

NB/T 10941-2022 小型锅炉和常压热水锅炉技术条件

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规范；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修订单）适用于本规范。

3 术语和计量单位

JJF1001-2011、JJF1059.1 界定的以及下列术语和定义适合于本规范。

小型锅炉 small-capacity boilers

符合下列任何一项要求的锅炉，即：

a) 设计正常水位水容积 $30\text{L} \leq V \leq 50\text{L}$ 且额定蒸汽压力 $0.1\text{MPa} \leq p \leq 0.8\text{MPa}$ 的蒸汽锅炉；

b) 设计正常水位水容积 $V < 30\text{L}$ 且额定蒸汽压力 $p \geq 0.1\text{MPa}$ 的蒸汽锅炉，或额定蒸汽压力 $p < 0.1\text{MPa}$ 的蒸汽锅炉(或汽水两用锅炉)；

c) 额定出水压力 $p < 0.1\text{MPa}$ 且额定热功率 $Q \geq 0.1\text{MW}$ 的热水锅炉。

【来源：NB/T 10941-2022，3.1】

4 概述

小型锅炉储水系统用于储存锅炉运行所需水源,是水位控制和安全运行的关键组件,可缓冲水位波动,避免干烧或满水事故。

结构如图 1 主要包括储水罐(立式、卧式或多模块集成)、连接管道、阀门、水位计等。储水罐多为圆柱形或球形,内部含导流板等结构件,外部有保温层和支撑架;管道系统含进排水、溢流等管路。

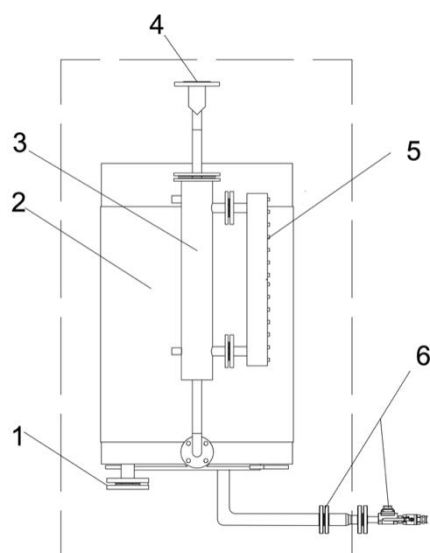


图 1 锅炉结构示意图

1——排污口; 2——锅炉本体; 3——水位平衡器; 4——蒸汽出口; 5——水位计; 6——进水阀组

5 计量特性

5.1 锅炉储水系统容积偏差

正常工作水位下,锅炉储水系统容积测得值与参考值之差(以制造商标称值为参考值),宜符合表1。

表1 锅炉储水系统容积偏差允许值

储水系统容积	偏差允许值
$V < 30\text{L}$	$\pm 5\%$
$30\text{L} \leq V \leq 50\text{L}$	$\pm 8\%$

5.2 重复性

在相同条件下多次测量,测得值的重复性应不大于2%。

注:以上计量特性指标仅供参考,不作为合格性判定的依据。

6 校准条件

6.1 环境条件

环境温度：(20±5)℃

湿度：≤85%RH

大气压力：(86~106) kPa。

校准时应避免强烈的振动和电磁干扰，校准现场应整洁、安全，通风良好。

6.2 校准用标准器及配套设备

储水系统容积校准所需主要计量器具及配套设备的计量性能宜不低于表2的规定，也可根据指标来选择适宜的标准器。

表2 主要计量器具及配套设备的技术指标

设备名称	技术指标
标准金属量器	三等及以上
量筒	2L允许误差：±10mL、0.5L允许误差：±2.5mL
数字指示秤	Ⅲ级
流量计	0.5级
温度计	允许误差：±0.5℃

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

容积偏差、重复性。

7.2 校准方法

7.2.1 校准前检查

锅炉外观应无影响正常工作的机械损伤，管路、排污孔应顺畅无堵塞。确认可以正常工作且没有影响计量特性的因素后，再进行校准。

7.2.2 容积偏差

7.2.2.1 常规测量方法适用条件

表3 测量方法推荐表

序号	适用条件	对应测量方法
1	适用于锅炉可完全排空或定量注水的场合	体积测量法、质量测量法
2	具备分别测量锅炉空载质量与注水后总质量的条件	质量测量法
3	可实现连续、稳定注水与排水的场合	流量计测量法
注：推荐优先采用体积测量法；若现场条件不满足，可采用质量测量法；在上述两种方法均无法实施时，可采用流量计测量法。		

7.2.2.2 体积测量法

将锅炉注水至设计水位,采用标准量器测量全部排出水的体积 V_p 或全部注入水的体积 V_z ,按式(2)计算锅炉储水系统容积 V_1 ,在相同环境条件下独立重复测量不少于三次,计算所得测量结果的算术平均值 $\bar{V}_1$,代入式(1)计算容积偏差。

$$\Delta V = \bar{V}_1 - V_s \quad (1)$$

$$V_1 = V_p = V_z = \sum_{j=1}^n V_j \quad (2)$$

式中:

ΔV ——容积偏差,单位为升(L);

V_1 ——体积测量法测量的锅炉储水系统容积,单位为升(L);

$\bar{V}_1$ ——多次测量结果的算术平均值,单位为升(L);

V_s ——锅炉储水系统容积参考值;单位为升(L);

V_p ——所有排出水的体积,单位为升(L);

V_z ——所有注入水的体积,单位为升(L);

V_j ——各量器测量锅炉储水系统容积,单位为升(L), ($j=1, 2, 3, \dots$)。

7.2.2.3 质量测量法

a) 直接质量测量法

将锅炉注水至设计水位,用衡器称量所有排出水的质量 m_p 或所有注入水的质量 m_z ,同时测量水温度 t 、大气压 p_a ,依据温度 t 、大气压 p_a 查表得到对应水的密度 ρ_t ,通过 m_p 或 m_z 按式(4)计算锅炉储水系统容积 V_2 ,在相同环境条件下独立重复测量不少于三次,计算所得测量结果的算术平均值 $\bar{V}_2$,代入式(3)计算容积偏差。

$$\Delta V = \bar{V}_2 - V_s \quad (3)$$

$$V_2 = \frac{m_p}{\rho_t} = \frac{m_z}{\rho_t} \quad (4)$$

式中:

ΔV ——容积偏差,单位为升(L);

V_2 ——采用直接质量测量法测量的锅炉储水系统容积,单位为升(L);

$\bar{V}_2$ ——多次测量结果的算术平均值,单位为升(L);

V_s ——锅炉储水系统容积参考值;单位为升(L);

m_p ——所有排出水的质量, 单位为千克(kg);

m_z ——所有注入水的质量, 单位为千克(kg);

ρ_t ——水密度, 由水温 $t(^{\circ}\text{C})$ 、大气压查表得到, 单位为千克每立方米(kg/m^3)。

b) 间接质量测量法

将锅炉注水至设计水位, 用衡器称量锅炉注水前质量 m_1 和注水后质量 m_2 或锅炉排水前质量 m_3 和排水后质量 m_4 , 同时测量水温度 t 、大气压, 依据温度 t 、大气压查表得到对应水的密度 ρ_t , 按式(6)计算锅炉储水系统容积 V'_2 , 在相同环境条件下独立重复测量不少于三次, 计算所得测量结果的算术平均值 $\bar{V}'_2$, 代入式(5)计算容积偏差。

$$\Delta V = \bar{V}'_2 - V_s \quad (5)$$

$$V'_2 = \frac{m_2 - m_1}{\rho_t} = \frac{m_3 - m_4}{\rho_t} \quad (6)$$

式中:

ΔV ——容积偏差, 单位为升(L);

V'_2 ——采用间接质量测量法测量的锅炉储水系统容积, 单位为升(L);

$\bar{V}'_2$ ——多次测量结果的算术平均值, 单位为升(L);

V_s ——锅炉储水系统容积参考值, 单位为升(L);

m_1 ——锅炉注水前质量, 单位为千克(kg);

m_2 ——锅炉注水后质量, 单位为千克(kg);

m_3 ——锅炉排水前质量, 单位为千克(kg);

m_4 ——锅炉排水后质量, 单位为千克(kg);

ρ_t ——水密度, 由水温 $t(^{\circ}\text{C})$ 、大气压查表得到, 单位为千克每立方米(kg/m^3)。

7.2.2.4 流量计测量法

将锅炉与流量计可靠连接, 采用该流量计测量锅炉储水系统注水容积或排水容积, 分别记录流量计初始值 Q_0 和累积值 Q_1 ; 按式(8)计算锅炉储水系统容积 V_4 。在相同环境条件下独立重复测量不少于三次, 计算所得测量结果的算术平均值 $\bar{V}_4$, 代入式(7)计算容积偏差。

$$\Delta V = \bar{V}_4 - V_s \quad (7)$$

$$V_4 = Q_1 - Q_0 \quad (8)$$

式中:

ΔV ——容积偏差，单位为升(L)；

V_4 ——采用流量计测量法测量的锅炉储水系统容积，单位为升(L)；

$\bar{V}_4$ ——多次测量结果的算术平均值，单位为升(L)；

V_s ——锅炉储水系统容积参考值，单位为升(L)；

Q_1 ——流量计测量结束的累积值，单位为升(L)；

Q_0 ——流量计初始值，单位为升(L)。

7.2.3 重复性

在重复性条件下，采用同一测量方法对锅炉储水系统容积进行 3~6 次重复测量；计算测得值的极差（即最大值与最小值之差），依据极差法计算实验标准差；以该实验标准差与测量值算术平均值的比值，作为重复性 s_r （极差系数参见表 4）。同步记录每次测量对应的测量值、水温及测量环境参数。

$$s(V_k) = \frac{R}{C} \quad (9)$$

$$s_r = \frac{s(V_k)}{\bar{V}} \times 100\% \quad (10)$$

式中：

R ——极差；

C ——极差系数；

$\bar{V}$ ——测量值算术平均值。

表 4 极差系数

测量次数 n	3	4	5	6
C	1.69	2.06	2.33	2.53

8 校准结果

校准证书至少包括以下信息：

- 标题：“校准证书”；
- 实验室名称和地址；
- 进行校准的地点（如果与实验室的地址不同）；
- 证书的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；
- 客户的名称和地址；
- 被校对象的描述和明确标识；
- 进行校准的日期，如果与校准结果的有效性和引用相关时，应说明被校

对象的接收日期;

h) 如果与校准结果的有效性应用有关时, 应对被校样品的抽样程序进行说明;

i) 校准所依据的技术规范的标识, 包括名称及代号;

j) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明;

k) 校准环境的描述;

l) 校准结果及其测量不确定度的说明;

m) 对校准规范的偏离的说明;

n) 校准证书或校准报告签发人的签名、职务或等效标识;

o) 校准结果仅对被校对象有效的声明;

p) 未经实验室书面批准, 不得部分复制证书的声明。

9 复校时间间隔

送检单位应根据校准结果、使用频次、使用条件等情况自行确定复校时间间隔。建议复校时间间隔不超过 1 年。

附录 A

校准记录参考格式

证书编号:

客户名称			仪器名称			出厂编号/管理号		
客户地址			规格型号			准确度等级/分度值		
生产厂家			环境条件			校准日期		
校准员			核验员			建议复校时间间隔		
标准器具	名称	编号	测量范围	不确定度或准确度等级或最大允许误差		证书编号	有效期至	
校准依据的技术文件:								
校准地点:								
校准结果								
水温:				大气压:				
编号	标称值(L)	测量值(L)			平均值(L)	容积偏差(L)	重复性%	测量不确定度 $U_{rel}, k=2$
		1次	2次	3次				

附录 B

校准证书内页参照格式

证书编号：XXXXXXXX

B.1 校准项目和结果

编号	标称值（L）	容积偏差（L）	重复性%	测量不确定度 U_{rel} ， $k=2$

（以下空白）

附录 C

容积温度修正公式

在非标准温度下得出的容积，按公式(C.1)进行温度修正：

$$V_{20} = V_t [1 + \beta(20 - t)] \quad (C.1)$$

V_{20} ——标准温度时的容积，L；

V_t ——校准温度时的容积，L；

β ——罐体的体膨胀系数， $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ；

t ——罐壁温度（取环境温度）， $^{\circ}\text{C}$ 。

附录 D

体积测量法测量锅炉储水系统容积不确定度评定示例

D.1 测量方法

采用2L量筒对小型锅炉储水系统容积进行校准。将待校准锅炉清洗后注满水至设计水位，然后将锅炉储水系统内的水转移到2L量筒中，每次转移至量筒刻度线并记录读数，重复操作直至锅炉内的水全部排出，累计15次读数得到锅炉储水系统容积的测量值 V 。上述过程独立重复3组，每组累计15次测量，获得3个容积测量值。

D.2 测量模型

$$\Delta V = \bar{V} - V_s \quad (\text{D.1})$$

式中：

ΔV ——容积偏差，单位为升(L)

$\bar{V}$ ——锅炉储水系统容积测得值算术平均值，单位为升(L)；

V_s ——锅炉储水系统容积参考值，单位为升(L)。

D.3 灵敏系数

$$c_1 = \frac{\partial V}{\partial \bar{V}} = 1 \quad c_2 = \frac{\partial V}{\partial V_s} = -1$$

D.4 测量不确定度主要来源

(1) 由锅炉储水系统容积示值引入的标准不确定度分量 $u(V)$

(2) 标准器量筒引入的不确定度分量 $u(V_s)$

D.5 标准不确定度分析评定

D.5.1 由锅炉储水系统容积示值引入的不确定度分量 $u(V)$

D.5.1.1 由测量重复性引入的不确定度分量 $u_1(V)$

用量筒独立重复测量锅炉储水系统容积3组，每组15次，数据如下：

组别 i	读数 V_i /L															容积 合计/L
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	1.980	1.960	1.980	1.960	1.960	1.980	1.980	1.980	1.980	1.980	1.960	1.980	1.980	1.960	1.980	29.600
2	1.980	1.960	1.980	1.980	1.980	1.960	1.980	1.980	1.980	1.980	1.960	1.960	1.980	1.980	1.980	29.620
3	1.960	1.980	1.960	1.980	1.980	1.980	1.960	1.980	1.980	1.960	1.980	1.960	1.980	1.960	1.960	29.560

测量锅炉储水系统容积测得值的算术平均值：

$$\bar{V} = \frac{29.600 + 29.620 + 29.560}{3} = 29.590\text{L}$$

每组内单次读数的标准偏差 s_i 为： $s_1 = 0.009759\text{L}$ ， $s_2 = 0.009155\text{L}$ ， $s_3 = 0.010328\text{L}$ 。

计算合并样本标准偏差：

$$s_p = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m s_i^2}{m}} = \sqrt{\frac{0.009759^2 + 0.009155^2 + 0.010328^2}{3}} = 0.009759\text{L}$$

单次读数标准偏差为： $s_p = 0.009759\text{L}$

在实际测量中以3组算术平均值作为最终测得结果，故标准不确定度为：

$$u_1(\bar{V}) = \frac{s_p}{\sqrt{n}} = \frac{0.009759}{\sqrt{3}} = 0.00563\text{L}$$

D.5.1.2 由锅炉液位计测量误差引入的不确定度分量 $u_2(V)$

液位计分度值0.001m，根据被测锅炉罐体横截面积换算成容积误差为0.017L，（ $\Delta V = S \times \Delta h$ ， S 为锅炉储水罐体有效横截面积， Δh 为液位计变化值），假设误差服从均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则液位测量误差引入的不确定度：

$$u_2(V) = \frac{0.017}{\sqrt{3}} = 0.0098\text{L}$$

由锅炉储水系统容积示值引入的不确定度分量 $u(V)$ 由上述 $u_1(V)$ 、 $u_2(V)$ 合成得到：

$$u(V) = \sqrt{u_1^2(V) + u_2^2(V)} = \sqrt{0.00563^2 + 0.0098^2} = 0.0113\text{L}$$

D.5.2 标准器量筒引入的不确定度 $u(V_s)$

量程范围为（0~2）L的量筒的最大允许误差为 $\pm 10\text{mL}$ ，假设误差服从均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则单次使用量筒读数的标准不确定度为：

$$u'(V_s) = \frac{a}{k} = \frac{10}{\sqrt{3}} = 5.774\text{mL} = 0.0058\text{L}$$

由于使用同一量筒进行15次测量，示值误差为系统误差且完全正相关，因此对总容积 V 引入的标准不确定度为：

$$u(V_s) = 15 \times u'(V_s) = 15 \times 0.0058 = 0.087\text{L}$$

量筒分辨力引入的读数误差已包含在重复性中，故不单独评定。温度影响很小，可忽略。

D.6 不确定度分量汇总表

不确定度分量	不确定度来源	分类	概率分布	包含因子	标准不确定度 $u_i(V_i)$ (L)	灵敏系数 c_i	$c_i u_i(V_i)$ (L)
$u(V)$	示值	—	—	—	0.0113	1	0.0113
$u_1(V)$	重复性	A	—	—	0.00563	—	—
$u_2(V)$	液位计测量误差	B	均匀分布	$\sqrt{3}$	0.0098	—	—
$u(V_s)$	量筒	B	均匀分布	$\sqrt{3}$	0.087	-1	-0.087

参照不确定度分量汇总表，合成标准不确定度如下：

$$u_c = \sqrt{c_1^2 u^2(V) + c_2^2 u^2(V_s)} = \sqrt{0.0113^2 + 0.087^2} = 0.088\text{L}$$

D.7 扩展不确定度评定

取置信概率 $p=95\%$ ，包含因子 $k=2$ ，根据扩展不确定度公式 $U = k \cdot u_c$ ，则扩展不确定度为

$$U = k \cdot u_c = 2 \times 0.088 = 0.176\text{L}, k = 2$$

相对扩展不确定度为

$$U_{rel} = \frac{U}{\bar{V}} \times 100\% = \frac{0.176}{29.590} \times 100\% = 0.6\%$$

D.8 测量结果的不确定度报告

体积测量法测量锅炉储水系统容积的测量不确定度 $U_{rel} = 0.6\%$ ， $k=2$ 。

附录 E

质量测量法测量锅炉储水系统容积不确定度评定示例

E.1 测量方法

将锅炉注水至符合锅炉储水系统容积测量要求的水位处后排尽水，测量排出水的质量 m_p ，同时测量水温度 t 及大气压力 P_a 。质量测量三次，取平均值。

E.2 测量模型

$$\Delta V = \bar{V} - V_s \quad (\text{E.1})$$

式中：

ΔV ——容积偏差，单位为升(L)

$\bar{V}$ ——锅炉储水系统容积测得值，单位为升(L)；

V_s ——锅炉储水系统容积参考值，单位为升(L)。

E.3 灵敏系数

$$c_1 = \frac{\partial V}{\partial \bar{V}} = 1 \quad c_2 = \frac{\partial V}{\partial V_s} = -1$$

E.4 测量不确定度主要来源

- (1)由测量重复性引入的不确定度分量 $u_1(V)$ ；
- (2)锅炉液位计测量误差引入的不确定度分量 $u_2(V)$
- (3)电子秤分辨力引入的不确定度分量 $u_3(V_s)$ ；
- (4)电子秤最大允许误差引入的不确定度分量 $u_4(V_s)$ 。

E.5 标准不确定度分析评定

- (1)由测量重复性引入的标准不确定度分量 $u_1(V)$ ；

将锅炉注水至符合储水系统容积测量要求的水位后，排尽炉内积水，测量排出水的质量，同时测量水温度 t 及大气压力 P_a 。测量三次数值分别为27.763kg、27.832kg、27.564kg，采用极差法，计算得到标准偏差 $s(V)$ ，据此确定其标准不确定度 $u_1(V)$ ；：

$$s(V) = \frac{(V_{\max} - V_{\min})}{C_n} = \frac{(27.832 - 27.564)}{1.69} = 0.159\text{kg} = 0.159\text{L}$$

$$u_1(V) = s(V) = 0.159\text{L}$$

- (2)锅炉液位计测量误差引入的不确定度分量 $u_2(V)$

液位计分度值0.001m，根据被测锅炉罐体横截面积换算成容积误差为0.017L，($\Delta V = S \times \Delta h$ ， S 为锅炉储水罐体有效横截面积， Δh 为液位计变化值)，假设误差服从均匀分布，包含因子 $k =$

$\sqrt{3}$, 则液位测量误差引入的不确定度:

$$u_2(V) = \frac{0.017}{\sqrt{3}} = 0.0098\text{L}$$

(3) 电子秤分辨力引入的不确定度分量 $u_3(V_s)$

量程范围为 (0~60) kg 的分辨力为 1g, 即区间的半宽度 $a=0.5\text{g}$, 假定其在该范围内均匀分布, 可得其标准不确定度为:

$$u_3(V_s) = \frac{a}{k} = \frac{0.5}{\sqrt{3}} = 0.289\text{g} = 0.000289\text{L}$$

(4) 电子秤最大允许误差不确定度引入的不确定度分量 $u_4(V_s)$

根据电子秤的说明书, 30kg 时最大允许误差为 $\pm 1.5\text{g}$, 假定其在该范围内均匀分布, 可得其标准不确定度为:

$$u_4(V_s) = \frac{U}{k} = \frac{1.5}{\sqrt{3}} = 0.866\text{g} = 0.000866\text{L}$$

E.6 不确定度分量汇总表

不确定度分量	不确定度来源	分类	概率分布	包含因子	标准不确定度 $u_i(V_i)$ (L)	灵敏系数 c_i	$c_i u_i(V_i)$ (L)
$u_1(V)$	重复性	A	—	—	0.159	1	0.160
$u_2(V)$	液位计测量误	B	均匀分布	$\sqrt{3}$	0.0098		
$u_3(V_s)$	分辨力	B	均匀分布	$\sqrt{3}$	0.000289	-1	-0.00092
$u_4(V_s)$	说明书	B	均匀分布	$\sqrt{3}$	0.000866		

参照不确定度分量汇总表, 合成标准不确定度如下:

$$\begin{aligned}
 u_c &= \sqrt{c_1^2 u^2(V) + c_2^2 u^2(V_s)} \\
 &= \sqrt{0.160^2 + 0.00092^2} \\
 &= 0.17\text{L}
 \end{aligned}$$

E.7 扩展不确定度评定

取置信概率 $p=95\%$, 包含因子 $k=2$, 根据扩展不确定度公式 $U = k \cdot u_c$, 则扩展不确定度为

$$U = k \cdot u_c = 2 \times 0.17 = 0.34\text{L}, \quad k = 2$$

相对扩展不确定度为

$$U_{rel} = \frac{U}{V} \times 100\% = \frac{0.34}{27.720} \times 100\% = 1.3\%$$

E.8 测量结果的不确定度报告

质量测量法测量锅炉储水系统容积的相对扩展不确定度 $U_{rel} = 1.3\%$, $k=2$ 。

附录 F

流量计测量法测量锅炉储水系统容积不确定度评定示例

F.1 测量方法

将锅炉与流量计可靠连接,采用该流量计测量锅炉储水系统注水容积或排水容积,流量计测量三次,取平均值。计算与参考值的容积偏差。

F.2 测量模型

$$\Delta V = \bar{V} - V_s \quad (\text{F.1})$$

式中:

ΔV ——容积偏差,单位为升(L);

$\bar{V}$ ——多次测量结果的算术平均值,单位为升(L);

V_s ——锅炉储水系统容积参考值,单位为升(L);

F.3 灵敏系数

$$c_1 = \frac{\partial V}{\partial \bar{V}} = 1 \quad c_2 = \frac{\partial V}{\partial V_s} = -1$$

F.4 测量不确定度主要来源

- (1)由重复性引入的不确定度分量 $u_1(V)$;
- (2)锅炉液位计测量误差引入的不确定度分量 $u_2(V)$
- (3)流量计分辨力引入的不确定度分量 $u_3(V_s)$;
- (4)流量计允许误差引入的不确定度分量 $u_4(V_s)$

F.5 标准不确定度分析评定

- (1) 流量计重复性引入的标准不确定度分量 $u_1(V)$

用流量计测量锅炉储水系统容积3次,测量三次数值分别为27.96L、27.85L、27.92L,采用极差法,依据公式计算得到标准偏差 $s(V)$,据此确定其标准不确定度 $u_1(V)$:

$$s(V) = \frac{(V_{\max} - V_{\min})}{C_n} = \frac{(27.96 - 27.85)}{1.69} = 0.065\text{L}$$

$$u_1(V) = s(V) = 0.065\text{L}$$

- (2)锅炉液位计测量误差引入的不确定度分量 $u_2(V)$

液位计分度值0.001m,根据被测锅炉罐体横截面积换算成容积误差为0.017L ($\Delta V = S \times \Delta h$, S 为锅炉储水罐体有效横截面积, Δh 为液位计变化值),假设误差服从均匀分布,包含因子 $k = \sqrt{3}$,则液位测量误差引入的不确定度:

$$u_2(V) = \frac{0.017}{\sqrt{3}} = 0.0098L$$

(3) 流量计分辨力引入的不确定度分量 $u_3(V_s)$

流量计量程范围为(0~100)L/min, 分辨力为0.01L, 即区间的半宽度 $a=0.005L$, 假定其在该范围内均匀分布, 可得其标准不确定度为:

$$u_3(V_s) = \frac{a}{k} = \frac{0.005}{\sqrt{3}} = 0.002887L$$

(4) 流量计允许误差引入的不确定度分量 $u_4(V_s)$

根据流量计的说明书, 测量范围(0~100)L/min时, 允许误差为0.5%, 即最大允许误差为0.14L, 假定其在该范围内均匀分布, 包含因子 $k=\sqrt{3}$, 可得其标准不确定度为:

$$u_4(V_s) = \frac{U}{k} = \frac{0.14}{\sqrt{3}} = 0.08L$$

F.6 不确定度分量汇总表

不确定度分量	不确定度来源	分类	概率分布	包含因子	标准不确定度 $u_i(V_i)(L)$	灵敏系数 c_i	$c_i u_i(V_i)(L)$
$u_1(V)$	重复性	A	—	—	0.065	1	0.0657
$u_2(V)$	液位计测量误	B	均匀分布	$\sqrt{3}$	0.0098		
$u_3(V_s)$	分辨力	B	均匀分布	$\sqrt{3}$	0.002887	-1	-0.08
$u_4(V_s)$	说明书	B	均匀分布	$\sqrt{3}$	0.08		

参照不确定度分量汇总表, 合成标准不确定度如下:

$$\begin{aligned}
 u_c &= \sqrt{c_1^2 u^2(V) + c_2^2 u^2(V_s)} \\
 &= \sqrt{0.0657^2 + 0.08^2} \\
 &= 0.104L
 \end{aligned}$$

F.7 扩展不确定度评定

取置信概率 $p=95\%$, 包含因子 $k=2$, 根据扩展不确定度公式 $U = k \cdot u_c$, 则扩展不确定度为

$$U = k \cdot u_c = 2 \times 0.104 = 0.208L, \quad k = 2$$

相对扩展不确定度为

$$U_{rel} = \frac{U}{V} \times 100\% = \frac{0.208}{27.910} \times 100\% = 0.8\%$$

F.8 测量结果的不确定度报告

流量计测量法测量锅炉储水系统容积的测量不确定度 $U_{rel} = 0.8\%$, $k = 2$ 。