



中华人民共和国国家计量技术规范

JJF XXX-XXXX

船舶燃料计量舱容量校准规范

Calibration Specification for Ship's

bunker Capacity

(征求意见稿)

202X-XX-XX 发布

202X-XX-XX 实施

国家市场监督管理总局 发布

船舶容量计量舱容量

校准规范

Calibration Specification for Ship's
bunker Capacity

JJF XXXX-XXXX

归口单位：全国容量计量技术委员会

主要起草单位：

参加起草单位：

本规范委托全国容量计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

参加起草人：

目 录

引 言	(III)
1 范围	(1)
2 引用文件.....	(1)
3 术语和计量单位.....	(1)
3.1 术语	(1)
3.2 计量单位.....	(1)
4 概述	(2)
4.1 用途	(2)
4.2 结构	(2)
4.2 原理	(2)
5 计量特性.....	(3)
5.1 校准结果的扩展不确定度.....	(3)
5.2 最小计量高度.....	(3)
6 校准条件.....	(3)
6.1 环境条件.....	(3)
6.2 安全条件.....	(3)
6.3 技术条件.....	(3)
6.4 测量标准及其他设备.....	(4)
7 校准项目和校准方法.....	(5)
7.1 校准项目.....	(5)
7.2 校准前准备及注意事项.....	(5)
7.3 校准方法.....	(6)
7.4 数据处理.....	(10)
8 校准结果表达.....	(15)
9 复校时间间隔.....	(15)
附录 A 校准记录表参考格式.....	(17)

附录 B 坐标测量法容量测量步骤及数据处理	(21)
附录 C 校准证书内页参考格式	(24)
附录 D 测量不确定度评定示例	(31)

引 言

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《测量不确定度评定与表示》共同构成支撑本规范制订工作的基础性系列规范。

本规范以国际法制计量组织(OIML)的 OIML R95《船舶舱—通用要求》、JJF 1009《容量计量术语及定义》和 GB/T 7727-2017《船舶通用术语》为基础，针对我国船舶燃料计量舱容量计量的现状，制定本规范。

本规范为首次制订。

船舶燃料计量舱容量校准规范

1 范围

本规范适用于新建、改造、修理和使用中的（1~2500）m³ 船舶液体燃料计量舱容量的校准。

2 引用文件

本规范引用下列文件：

JJF 1009 容量计量术语及定义

JJF 1071 国家计量校准规范编写规则

JJG 702 船舶液货计量舱容量检定规程

JJG 168-2018 立式金属罐容量

JJG 140-2018 铁路罐车容积

GB/T 7727 船舶通用术语

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（包括所有的修改单）适用于本规范。

3 术语和计量单位

3.1 术语

引用文件界定的及以下术语和定义适用于本规范。

3.1.1 计量管总长 total length of measurement tube

上部基准点与下部基准点之间，沿计量管的长度，以 $L_{\text{计}}$ 表示。

3.1.2 尺寸测量法 geometric measurement method（规则舱）

尺寸测量法是用钢卷尺或全站仪等仪器对船舶燃料计量舱的几何尺寸进行测量，通过计算得到燃料舱容量的方法。

3.1.3 坐标测量法 geometric coordinate measurement method

测量舱内表面得到三维空间坐标，通过计算得到船舶燃料计量舱容量的方法。

3.1.4 舱横剖面 tank transverse section

用于计算舱容积选取的垂直于舱长方向的面。

3.2 计量单位

体积（容量）单位：立方米，符号 m³。

长（宽、高）度单位：毫米，符号 mm；米，符号 m。

温度单位：摄氏度，符号℃。

4 概述

4.1 用途

船舶燃料计量舱（以下简称“燃料舱”）是用于储存与供应船舶自用燃料的专用容器。经校准后可作为计量器具，用于舱内燃料体积的精确计量。

4.2 结构

燃料舱是船体内部由纵横水密舱壁、甲板及外板围成的密闭空间。燃料舱内通常配备加热设备、透气管、测量管、溢流管及支撑构件等。燃料舱主要位于靠近机舱的区域，舱形状往往呈现不规则的特点，燃料舱结构示意图见图 1。

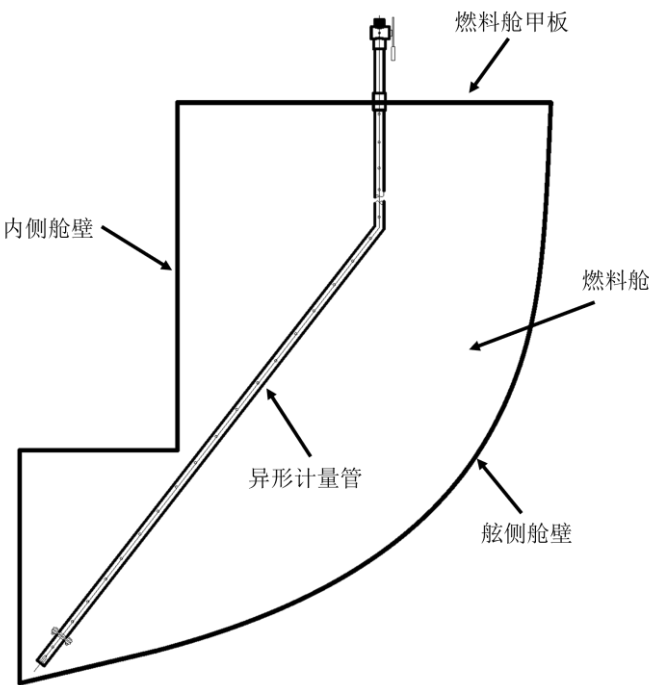


图 1 燃料舱结构示意图

注：燃油舱形状种类不一，为体现燃料舱结构特性，本规范给出不规则舱壁、配备异形计量管形式的燃料舱结构示意图。

4.3 原理

工作原理方面，燃料舱盛装燃料后，可通过人工量尺等方式测量舱内燃料的液面高度，并依据本规范所制定的舱容表、修正表，计算舱内燃料体积。

测量原理方面，分为尺寸测量法和坐标测量法，测量模型如式（1）所示：

$$V_{\text{净}} = \int_{x_r}^{x_f} A_j d_x - V' \tag{1}$$

式中：

$V_{\text{净}}$ ——燃料舱在 20℃ 的净容量值，m³；

x_f ——燃料舱前壁 x 坐标值, m;

x_r ——燃料舱后壁 x 坐标值, m;

A_j ——第 j 个横剖面面积, m^2 。

V' ——燃料舱内构件与附件的总体积, m^3 。

5 计量特性

5.1 校准结果的扩展不确定度

容量为 $(1\sim 20) m^3$ (含 $1 m^3$) 的燃料舱, 容量校准结果的相对扩展不确定度为 0.6% , ($k=2$);

容量为 $(20\sim 200) m^3$ (含 $20 m^3$) 的燃料舱, 容量校准结果的相对扩展不确定度为 0.4% , ($k=2$);

容量为 $(200\sim 2500) m^3$ (含 $2500 m^3$) 的燃料舱, 容量校准结果的相对扩展不确定度为 0.3% , ($k=2$)。

5.2 最小计量高度

为了保证扩展不确定度满足 5.1 的要求, 燃料舱内燃料的最小计量高度应不小于 $\Delta h / U_{rel}$, 其中 Δh 为液位系统最大允许误差, U_{rel} 为 5.1 中要求的相对扩展不确定度。

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 燃料舱内环境温度为 $-10^{\circ}\text{C}\sim 40^{\circ}\text{C}$; 校准过程中, 舱内温度变化不超过 5°C ; 燃料舱内环境湿度不影响测量结果的准确度。

6.1.2 燃料舱内无振动干扰源, 无残油和沉积物以及影响校准工作的其它杂物, 无影响测距功能的悬浮灰尘颗粒。

6.1.3 校准过程中, 避免直射光源对光电测量仪器产生干扰。

6.2 安全条件

6.2.1 燃料舱内氧气含量、可燃气体浓度、防爆条件和其他有害气体浓度应符合相关安全要求。

6.2.2 校准人员必须穿着防静电工作服、防护鞋, 佩戴手套、安全帽以及安全带。根据现场实际情况可选择佩戴空气呼吸器、防毒面具和护目镜等防护用品。

6.2.3 校准人员在进舱前应检查燃料舱内扶梯、护栏及其它附着在舱壁的附件, 确定其是否牢固, 以保证人员和仪器的安全。

6.3 技术条件

6.3.1 受校船舶建造、强度和变形应符合国家有关规范的要求; 受校船舶应有船名标识和

船舶识别号，受校燃料舱应有名称标识。

6.3.2 计量管或计量口应有明确的标记或标识，以确定检尺位置；计量管应安装稳固。

6.3.4 燃料舱的舱壁及过舱管系不应泄漏和渗透。

6.3.5 若燃料舱内设置非水（油）密舱壁或构件，则该舱壁或构件上的开孔位置和面积应能使舱壁两侧液体高度保持一致。

6.3.6 使用光电测量设备时，光电测量设备的架设应稳固牢靠，当舱壁无棱镜测距信号漫反射条件不好时，应核查设备及环境条件对测量结果的影响。

6.3.7 必要时需提供以下能反映船舶实际新建、改造、修理情况的图纸及资料，包括：

- a)反映实船型线的图样（型线图、型值表）；
- b)反映实船燃料舱布置情况的图样（总布置图）；
- c)反映实船燃料舱结构的图样（基本结构图、分段结构图、舱壁结构图等）；
- d)反映实船燃料舱管系的图样（舱管系分布图）；
- e)反映实船燃料舱液位测量装置位置的图样；
- f)反映实船燃料舱的其它资料。

6.4 测量标准及其他设备

校准用测量标准及其他设备主要技术参数见表 1 和表 2。表 1 中测量标准必须经检定或校准确认，其结果应符合表 1 的要求，且在溯源周期内方可使用。

表 1 校准用测量标准及技术参数

设备名称	型号规格/测量范围	最大允许误差	备注
三维激光扫描仪	(0.5~50) m	空间距离： $\pm (2\text{mm}+2\times 10^{-6}L)$ L 为测量距离，单位：m	——
全站仪	(1.7~50) m	测角标准差： $\pm 2''$ 无棱镜测距标准差： $\pm (2\text{mm}+2\times 10^{-6}L)$ L 为测量距离，单位：m	——
激光测距仪	(0.1~50) m	$\pm 2\text{mm}$	检定/校准证书应有修正值，使用时应修正；
测深钢卷尺	5m、10m、20m、30m	$\pm 2\text{mm}$	检定/校准证书应有修正值，使用时应修正；
钢卷尺	5m、10m、20m、30m	$\pm (0.3\text{ mm}+0.2L)$ L 为测量长度，单位：m；当长度不是 m 的整数倍时，取最接近的较大的整“米”数。	检定/校准证书应有修正值，使用时应修正；使用时拉力与检定/校准时拉力一致；

表 2 其他设备技术参数表

设备名称	型号规格/测量范围	最大允许误差	备注
------	-----------	--------	----

钢直尺	300mm、1000mm	±0.10 mm	——
测厚仪	(1~50) mm	1mm≤ L≤10mm: ±0.1 mm L>10mm: ± (0.1 mm +1%L) L 为测量厚度, 单位: mm	——
温度计	(-10~40) °C	±0.5°C	分度值优于 0.2°C
管型测力计	(0~100) N	±2%FS	/

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

校准项目为外观及一般性能、基准点相关参数、容量, 校准记录表见附录 A。

7.2 校准前准备及注意事项

7.2.1 燃料舱测量坐标系

通常以舱底平面、中纵剖面与后舱壁三者的交线所确定的点为坐标原点, 沿中纵剖面方向为 x 轴, 沿舱宽方向为 y 轴, 沿舱高方向为 z 轴, 构建测量坐标系, 见图 3。

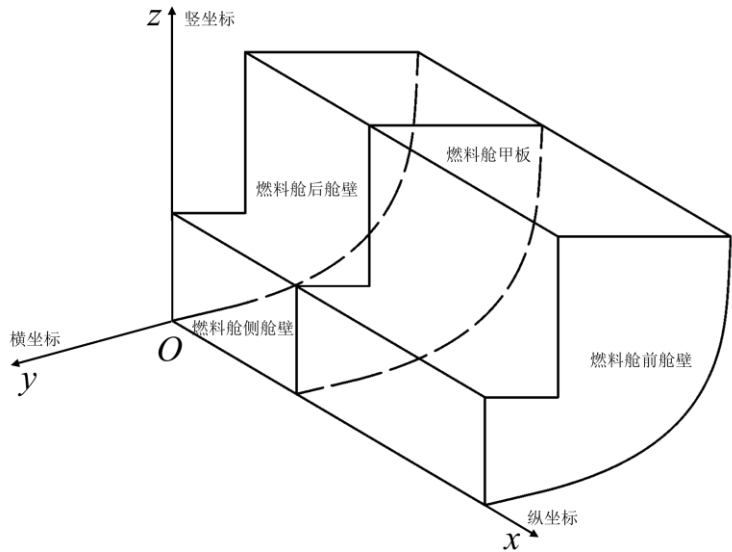


图 3 燃料舱坐标系示意图

7.2.2 注意事项

7.2.2.1 尺寸测量法

a)如使用钢卷尺测量, 应使钢卷尺与舱壁的温度达到动态热平衡; 测量时, 钢卷尺施加与其检定/校准时相同的拉力。如用钢卷尺进行无依托测量时, 根据力平衡原理, 可按公式 (2) 修正示值。

$$\Delta L_1 = -\frac{L_v^3}{24} \times \frac{R^2}{P^2} \times g^2 \times 10^3$$

(2)

式中:

ΔL_1 ——钢卷尺无依托测量时的示值修正值, mm;

L_V ——钢卷尺测得的示值，m；

R ——钢卷尺单位长度的重量，kg/m；

P ——拉力，N；

g ——重力加速度，N/kg，一般取 9.806 N/kg。

经修正后的最终实际测量值 L_P 见公式 (3)。

$$L_P = L_V + \Delta L_1 + \Delta L_2 \quad (3)$$

式中：

L_P ——钢卷尺经修正后的测量值，mm；

L_V ——钢卷尺测得的示值，mm；

ΔL_1 ——钢卷尺无依托测量时的示值修正值，mm；

ΔL_2 ——钢卷尺校准/校准证书给出的修正值，mm。

b)采用钢卷尺测量距离时，必须重复测量两次，两次测量值之差应不超过 1mm，否则应重新测量。

c)采用激光测距仪时，可直接测量出两点间的距离值。

d)采用全站仪时，通过测量距离两端点的坐标值 $A(x_A, y_A, z_A)$ 和 $B(x_B, y_B, z_B)$ ，利用公式 (4) 计算出两点的距离值 AB 。

$$AB = \sqrt{(x_A - x_B)^2 + (y_A - y_B)^2 + (z_A - z_B)^2} \quad (4)$$

7.2.2.2 坐标测量法

a)三维扫描设备与周围环境温度每相差 1℃，应静置约 2min，总静置时间应不低于 15min；

b)选择两个参考目标点，参考目标点尽可能分布在扫描仪水平转动 0°两侧；分别使用激光测距仪、三维激光扫描仪测量与参考目标点的距离，进行结果对比，保证差值在±2mm 范围内；

c)使用三维激光扫描仪在多站扫描过程中，在转站时，两站测得的公共点、标志、靶球或靶标的误差不超过±2mm。

7.3 校准方法

7.3.1 外观及一般性能

7.3.1.1 观察船体及燃料舱的建造情况，应符合 6.3.1 的要求。

7.3.1.2 检查计量管或计量口，观察是否有明显标识，应符合 6.3.2~6.3.3 的要求。

7.3.1.3 进入舱内，观察燃料舱舱壁、管系、设置非水（油）密舱壁和构件应符合 6.3.4~6.3.5 的要求。

7.3.2 基准点相关参数

船舶燃料舱计量管和计量口测量示意图，见图 4.1、4.2。

7.3.2.1 上部基准点

- a)在燃料舱顶板上,测量上部基准点所在位置的在燃料舱测量坐标系中坐标值 $X_{\text{上}}, Y_{\text{上}}$;
 b 测量燃料舱顶板上部高 h , 测量计量管或计量口前后两个方向取平均值;
 c)若以上方式不易实现, 则使用全站仪、激光测距仪在舱内测量计量管与舱顶板交界点到各舱壁、舱底的距离, 或使用三维激光扫描仪测量交界处坐标值, 以获取 $X_{\text{上}}, Y_{\text{上}}$;
 d)在燃料舱顶板上部基准点处, 使用测深钢卷尺沿计量管测量计量管总长 $L_{\text{计}}$;
 e)利用公式(5)计算上部基准点所在位置的竖坐标值 $Z_{\text{上}}$ 。

$$Z_{\text{上}} = H_0 + \delta + h + Z_{\text{下}} \quad (5)$$

式中:

$Z_{\text{上}}$ ——上部基准点所在位置的竖坐标值, mm;

H_0 ——计量舱高, mm;

δ ——甲板厚度, mm;

h ——上部基准点到燃料舱甲板上表面的高度, mm;

$Z_{\text{下}}$ ——下部基准点所在位置的竖坐标值, mm。

7.3.2.2 下部基准点

使用钢卷尺、激光测距仪、全站仪测量下部基准点到后舱壁、纵舱壁、舱底的距离, 或使用三维激光扫描仪测量下部基准点在燃料舱测量坐标系中坐标值, 以获取 $X_{\text{下}}, Y_{\text{下}}, Z_{\text{下}}$ 。

7.3.2.3 异形计量管特征点

异形计量管是指在燃料舱内用于测量液位的弯曲或折线导向管。对于异形计量管, 应测量异形计量管特征点位置坐标, 以获取计量管形状及不同液位高度处计量管在舱长、舱宽方向坐标值。按以下原则进行测量:

- a)若异形计量管存在折点, 必须对折点位置进行测量。
 b)若异形计量管为弯曲计量管或存在弯曲部分, 应选取拐点、曲率变化率高的点作为特征点, 且弯曲部分总测量点数原则上不得少于 5 个, 以精确描述计量管形状。

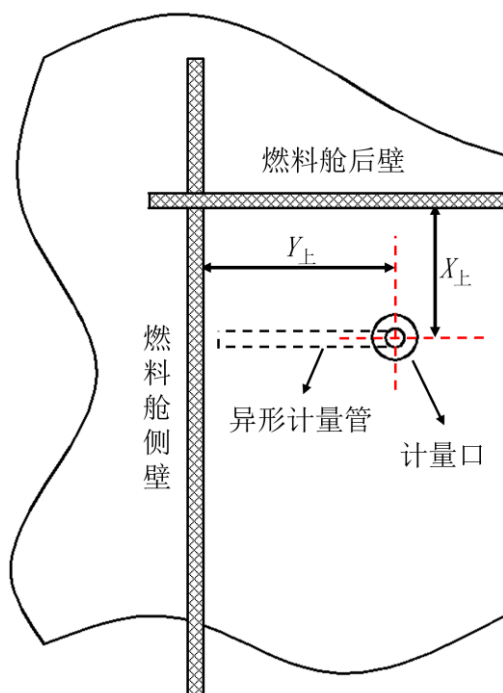


图 4.1 计量管和计量口俯视示意图

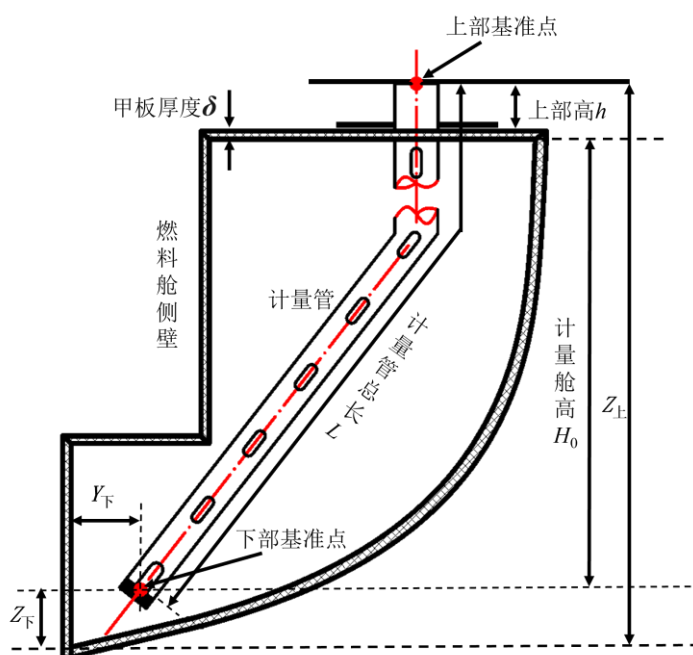


图 4.2 计量管和计量口正视示意图

图中：

$X_{上}$ ——上部基准点所在位置的纵坐标，mm；

$Y_{上}$ ——上部基准点所在位置的横坐标，mm；

$Z_{上}$ ——上部基准点所在位置的竖坐标，mm；

$X_{下}$ ——下部基准点所在位置的纵坐标，mm；

$Y_{下}$ ——下部基准点所在位置的横坐标，mm；

$Z_{\text{下}}$ ——下部基准点所在位置的竖坐标，mm。

7.3.3 容量测量

燃料舱容量测量方法分为尺寸测量法和坐标测量法。规范正文中给出尺寸测量法测量步骤，坐标测量法见附录 B。

7.3.3.1 舱体横剖面测量

a) 横剖面位置选取

(1) 横剖面测量位置的选取应沿舱长方向尽可能均匀分布，且能够反映燃料舱变化情况；

(2) 单个燃料舱横剖面测量个数不少于 4 个，在曲率变化较大处，可适当增加剖面测量个数；

(3) 横剖面测量位置应包含燃料舱舱壁所在的剖面和有明显变化的剖面；

(4) 相邻剖面间距不得超过 2000mm。

b) 测量点选取

(1) 在选定的舱宽测量横剖面上，沿舱高方向选取测量点，横剖面存在明显折点的，按折点分段测量，折点处必须进行测量；每一分段上的舱宽测量点尽可能均匀分布且间距不得超过 2000mm；

(2) 剖面形状无明显折点，按整体曲线测量，该曲线舱宽测量点尽可能均匀分布且间距不得超过 2000mm；

(3) 曲线曲率变化较大时，应适当增加舱宽测量点数；

(4) 单个剖面形状上的总测量点数不得少于 5 个。

c) 测量方法

采用激光测距仪、钢卷尺、全站仪测量选定剖面测量点处对应的舱宽、高度，见图 5。

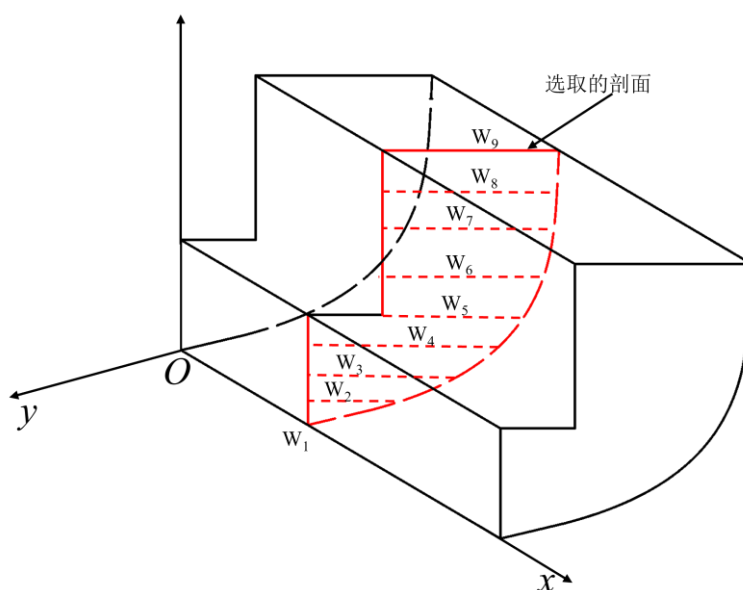


图 5 剖面不同高度舱宽示意图

d)横剖面间距测量

在相邻舱宽测量剖面不同高度位置上进行间距测量，其测量位置应尽可能均匀分布，总测量点数不应少于三个。

7.3.3.2 舱体长度测量

a)测量位置选取

分别在舱底、舱中部高度、舱顶处，沿舱宽方向均匀选取测量点，每个高度处的测量点不少于三个。

b)测量方法

(1) 在选取的测量点处，采用激光测距仪、钢卷尺、全站仪测量后舱壁到前舱壁的长度。

(2) 若舱长不能一次性测量，则采用分段测量方式，将分段长度进行叠加。

7.3.4 构件与附件测量

燃料舱内肋骨、肋板、纵桁、纵骨、垂直桁、扶强材、横梁等构件应测量其主要尺寸及位置。利用测厚仪测量相关构件的厚度；利用钢卷尺测量相关构件的长度、宽度和高度等几何尺寸。

燃料舱内加热管系、输液管系、阀件等附件应测量其主要尺寸及位置。利用测厚仪测量相关附件的厚度；利用钢卷尺测量相关附件的长度、宽度和高度等几何尺寸。

注：构件、附件尺寸无法直接测量，可根据图纸计算其体积和位置。

7.4 数据处理

7.4.1 容量计算

7.4.1.1 剖面面积计算

根据燃料舱形状特点，采用分段曲线对舱壁各横剖面进行拟合，即 $y = f(z)$ ，拟合横剖面示意图见图（6）。按公式（6）计算横剖面面积。

$$A_{jz_i} = \int_0^{z_i} y_j dz \quad (6)$$

式中：

A_{jz_i} ——第 j 个横剖面上 z_i 液面高度下的面积， m^2 ；

z_i ——燃料舱内的液面高度， m ；

y_j ——燃料舱内第 j 个横剖面的拟合曲线。

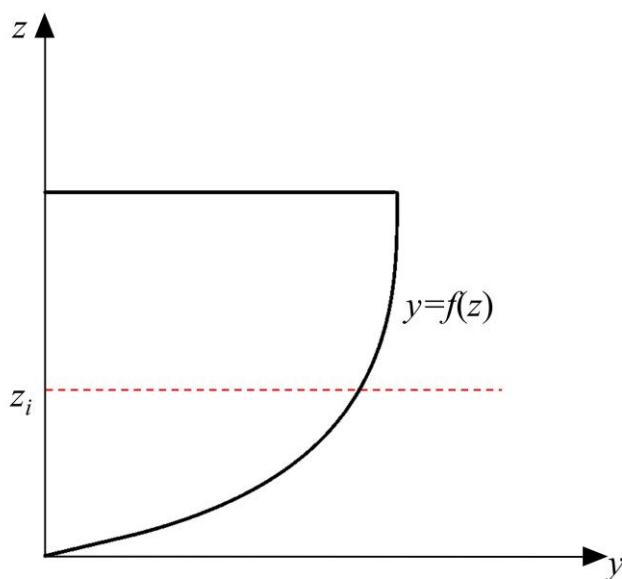


图6 拟合横剖面示意图

7.4.1.2 舱总容量计算

按公式（7）计算燃料舱总容量。

$$V_{\text{总}} = \int_{x_r}^{x_f} A_j dx \quad (7)$$

式中：

$V_{\text{总}}$ ——燃料舱总容量， m^3 ；

x_f ——燃料舱前壁 x 坐标值， m ；

x_r ——燃料舱后壁 x 坐标值， m ；

A_j ——第 j 个横剖面面积， m^2 。

7.4.2 构件与附件体积

根据测量附件、构件几何尺寸和位置信息，按公式（8）计算燃料舱内构件与附件总体积。

$$V' = V'_1 + V'_2 \quad (8)$$

式中：

V' ——燃料舱内构件与附件的总体积， m^3 ；

V'_1 ——燃料舱内附件总体积， m^3 ；

V'_2 ——燃料舱内构件总体积， m^3 。

注：当构件与附件体积使舱容量增加时，体积为负值；当构件与附件体积使舱容量减少时，体积为正值。

7.4.3 燃料舱净容量

按公式（9）计算扣除附件、构件体积的燃料舱净容量。

$$V_{\text{净}} = V_{\text{总}} - V' \quad (9)$$

式中：

$V_{\text{净}}$ ——燃料舱净容量， m^3 ；

7.4.4 任意高度下燃料舱净容量

按公式（10）计算 z_i 液面高度下燃料舱净容量。

$$V_{\text{净}, z_i} = \int_{x_r}^{x_f} A_{j/z_i} dx - V'_{z_i} \quad (10)$$

式中：

$V_{\text{净}, z_i}$ —— z_i 液面高度下燃料舱净容量， m^3 ；

A_{j/z_i} —— z_i 液面高度下第 j 个横剖面面积， m^2 。

V'_{z_i} —— z_i 液面高度下燃料舱构件与附件总体积， m^3 。

7.4.5 标准温度舱容表

需将现场测量舱容量进行温度修正，以得到标准温度（ 20°C ）下舱容表，按公式（11）计算。

$$V_{t_b} = V_{t_1} (1 + 3\alpha(20^\circ\text{C} - t_1)) \quad (11)$$

式中：

V_{t_1} ——现场测量舱壁温度为 t_1 时，燃料舱容量， m^3 ；

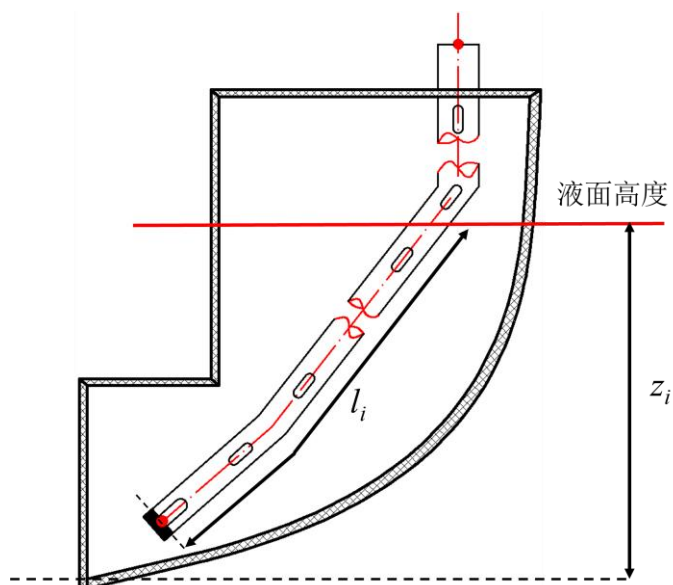
V_{t_b} ——标准温度、正浮状态下舱容表的容量， m^3 ；

α ——燃料舱壁的材料平均线膨胀系数， $^\circ\text{C}^{-1}$ ；

t_1 ——现场测量温度， $^\circ\text{C}$ ；

7.4.6 异形计量管高度转换

当计量管为常规计量管时，舱容表给出正浮状态下，液面高度 z_i 及其对应的容量。当计量管为异形计量管时，舱容表通常给出正浮状态下，沿计量管从下部基准点至液面的距离 l_i 及其对应的容量。需将 z_i 转换为 l_i ， z_i 与 l_i 关系见图8。

图 8 z_i 与 l_i 关系示意图

7.4.7 纵倾修正

当船舶存在纵倾时（见图 9），按公式（12）计算纵倾角，按公式（13）计算纵倾高度修正值：

$$\alpha = \arctan\left(\frac{T_A - T_F}{L_{\text{BDM}}}\right) \quad (12)$$

式中：

α ——船舶纵倾角度，°；

T_A ——船艏水尺数值，m；

T_F ——船艉水尺数值，m；

L_{BDM} ——船舶艏艉水尺间距离。

$$\Delta z = (x_3 - x_4) \tan \alpha \quad (13)$$

式中：

Δz ——纵倾液面高度修正值，m；

x_3 ——自由液面形心纵坐标，m；

x_4 ——计量口所在位置的纵坐标，m。

当计量管为异形计量管时，应考虑计量管对纵倾修正的影响。

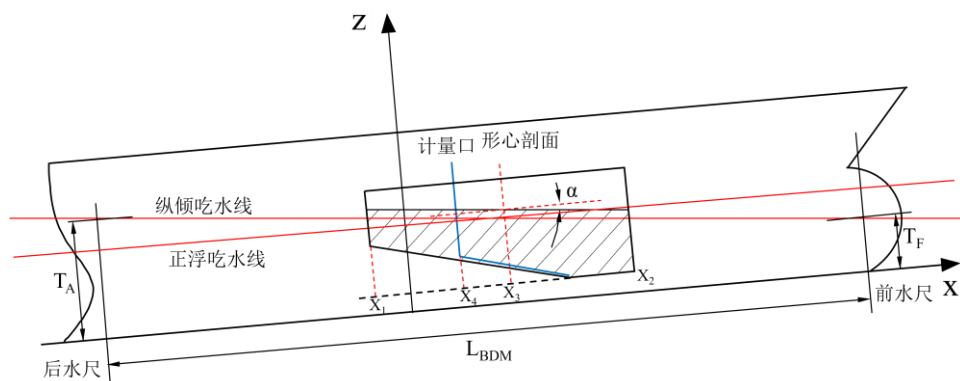


图9 纵倾示意图

图中:

x_1 ——燃料舱后壁剖面位置的纵坐标, mm;

x_2 ——燃料舱前壁剖面位置的纵坐标, mm;

x_3 ——自由液面形心纵坐标, mm;

x_4 ——液面与计量管交点所在位置的纵坐标, mm;

T_A ——船艉水尺读数, mm;

T_F ——船艏水尺读数, mm;

L_{BDM} ——船舶的水尺间长, mm。

7.4.8 横倾修正

当船舶存在横倾时 (见图 10), 按公式 (14) 计算横倾高度修正值:

$$\Delta z' = (y_3 - y_4) \tan \beta \quad (14)$$

式中:

$\Delta z'$ ——横倾液面高度修正值, m;

y_3 ——自由液面形心的横坐标, m;

y_4 ——液面与计量管交点所在位置的横坐标, m;

β ——横倾角度, °。

当计量管为异形计量管时, 应考虑计量管对横倾修正的影响。

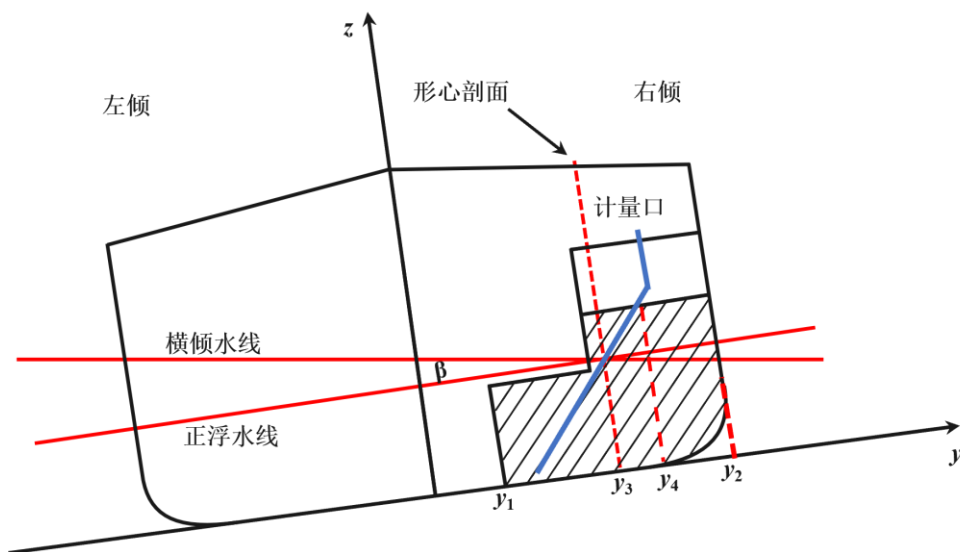


图 10 横倾示意图

图中：

- y_1 ——燃料舱内侧舱壁剖面位置的横坐标，m；
- y_2 ——燃料舱舷侧舱壁剖面位置的横坐标，m；
- y_3 ——自由液面形心的横坐标，m；
- y_4 ——液面与计量管交点所在位置的横坐标，m；
- β ——横倾角度，°。

7.4.9 温度修正

在非标准温度条件下，可根据燃料舱舱体材料的线膨胀系数，按公式（15）计算燃料舱舱体膨胀/收缩修正后的容量。

$$V_{t_2} = V_b(1 + 3\alpha(t_2 - t_b)) \quad (15)$$

式中：

- V_{t_2} ——燃料温度为 t_2 时，对燃料舱舱体膨胀/收缩修正后的容量， m^3 ；
- V_b ——标准温度，经纵、横倾修正后的舱容表的容量， m^3 ；
- t_2 ——燃料的实际温度，°C。

8 校准结果表达

8.1 校准记录

校准记录参考格式见附录 A。

8.2 校准结果处理

校准结果应在校准证书上反映，校准证书内页格式见附录 C。

9 复校时间间隔

9.1 燃料舱容量的复校时间间隔建议一般不超过 3 年。由于复校时间间隔的长短是由燃料计量舱的使用情况、使用者、燃料计量舱本身质量等诸因素所决定的，因此，送校单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。

9.2 燃料舱改建、严重变形、测量管位置发生变化，导致校准结果受到怀疑时，建议应重新申请校准。

附录 A

校准记录表参考格式一

燃料舱容量校准记录表（基本信息、基准点）

送校单位				
船名		船舶识别号		
舱数		规格型号		
地点		环境温度	℃	
校准方法	☐ 尺寸测量法； ☐ 坐标测量法		校准类型	☐ 新校； ☐ 复校
使用的计量标准信息				
序号	名称		编号	
1				
2				
3				
...				
外观及一般性能				
序号	名称	技术要求	结果	备注
1	船体建造要求	是否符合 6.3.1 的要求	☐ 符合； ☐ 不符合	
2	计量管/口要求	是否符合 6.3.2~6.3.3 的要求	☐ 符合； ☐ 不符合	
3	舱室要求	是否符合 6.3.4~6.3.5 的要求	☐ 符合； ☐ 不符合	
基准点相关参数				
上部基准点坐标测量		下部基准点坐标测量		☐ 计量管； ☐ 计量口 示意图
坐标 $X_{上}$		坐标 $X_{下}$		
坐标 $Y_{上}$		坐标 $Y_{下}$		
坐标 $Z_{上}$		坐标 $Z_{下}$		
上部高 h		甲板厚度 δ		
计量管总长 L		内高 H_0		

校准员：

核验员：

校准日期：

校准记录表参考格式二

燃料舱容量校准记录表（尺寸测量法）

船名		舱名	
一、舱长测量数据：			
距纵舱壁			
距基线高	长	长	长
二、舱宽测量数据：			
距后舱壁			
距基线高	宽	宽	宽

校准员：

核验员：

校准日期：

校准记录表参考格式三

燃料舱容量校准记录表（坐标测量法）

船名		舱名	
全站仪/三维激光扫描数据将记录于点云原始数据文件中,文件命名方式应简洁并包含足够的信息，以便于后续管理和查找。 文件命名方式示例: 日期+船名缩写+舱名+分段扫描序号：20240101_YS200_N0ltank_01。 日期+船舶识别号+舱编号+分段扫描序号：20240101 CN000000000000_C1_01。			

校准员：

核验员：

校准日期：

校准记录表参考格式四

燃料舱容量校准记录表（构件附件、计量管特征点）

船名					舱名		
构件附件测量							
序号	名称	计算公式	几何尺寸	数量	起点	止点	备注
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
计量管特征点测量							
序号	x	y	z	序号	x	y	z
1				7			
2				8			
3				9			
4				10			
5				11			
6				12			

注：附件总体积使燃料舱容量增加时，填写负值；附件总体积使燃料舱容量减少时，填写正值；

校准员：

核验员：

校准日期：

附录 B

坐标测量法容量测量步骤及数据处理

B.1 容量测量

a)确定扫描站数

根据舱空间尺寸、形状，确定扫描站的数量，若单站测量无法覆盖全部舱壁区域，或存在遮挡并影响舱容计算结果的情况，则采用多站测量。扫描设站保证下部基准点、燃料舱内形状突变位置均能得到扫描测量。

b)公共点布设

采用多站测量时，相邻两站间应设置 3 个及 3 个以上公共点、标志、靶球或靶标，并且不能在一条直线上；保证相邻两站都能完整测量到站间设置的公共点、标志、靶球或靶标；

c)架设设备

将三脚架架设在稳固的舱底面上，将扫描仪与三脚架平台连接固定，确保扫描仪稳固且不易晃动。

d)扫描参数设置

(1) 设置分辨率，一般使舱壁点距离达到 3mm~10mm，也可根据现场测量需求调整分辨率。单舱所有测站拼接后点云总点数不应低于 100 万点。

(2) 设置视场角，一般设置水平视场角为 0~360°，垂直视场角为 0~270°，也可根据现场测量需求进行调整。

e)设备扫描

点击设备扫描按键，对燃料舱进行扫描；开始扫描后，禁止人员在扫描仪附近走动；当设备出现扫描完毕、数据保存完成且无任何错误提示时，方可移动三维激光扫描仪。

f)所有扫描站测量完成后得到燃料舱点云三维坐标数据。

B.2 数据处理

B.2.1 点云预处理

a)从三维激光扫描仪导出原始点云数据到处理软件。

b)若是多站扫描，将多站的点云数据拼接成一个完整舱的点云数据，拼接误差小于 2mm。

c)将三维扫描测站坐标系下的数据转换为燃料舱坐标系下的数据，坐标系转换按公式 (B.1) 计算：

$$\begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & \varepsilon_z & -\varepsilon_y \\ -\varepsilon_z & 1 & \varepsilon_x \\ \varepsilon_y & -\varepsilon_x & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix} \quad (\text{B.1})$$

式中：

(x_2, y_2, z_2) ——燃料舱坐标系下测量点的三维坐标，mm；

$(\Delta x, \Delta y, \Delta z)$ ——坐标系转化中的平移参数，mm；

$(\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z)$ ——坐标系转化中的旋转参数，mm；

(x_1, y_1, z_1) ——三维扫描测站坐标系下测量点的三维坐标，mm。

d)对点云数据进行滤波、结构分割，去除舱内附件、遮挡等物的杂点，只保留舱壁点云数据。

B.2.2 水平薄片面积计算

将舱体沿燃料舱坐标系竖直坐标轴方向，切分成 p 个水平薄片（每个水平薄片厚度范围 t 一般小于 10mm），将每个点向水平薄片底面投影。假设第 i 个水平薄片中有 q 个扫描点，水平薄片顶面高度为 z_i ，设这 q 个点坐标为 $A_1(x_1, y_1, z_i)$ 、 $A_2(x_2, y_2, z_i) \dots A_{q-1}(x_{q-1}, y_{q-1}, z_i)$ 、 $A_q(x_q, y_q, z_i)$ ，中心坐标为 $O_i(x_0, y_0, z_i)$ ，如图 B.1 所示。

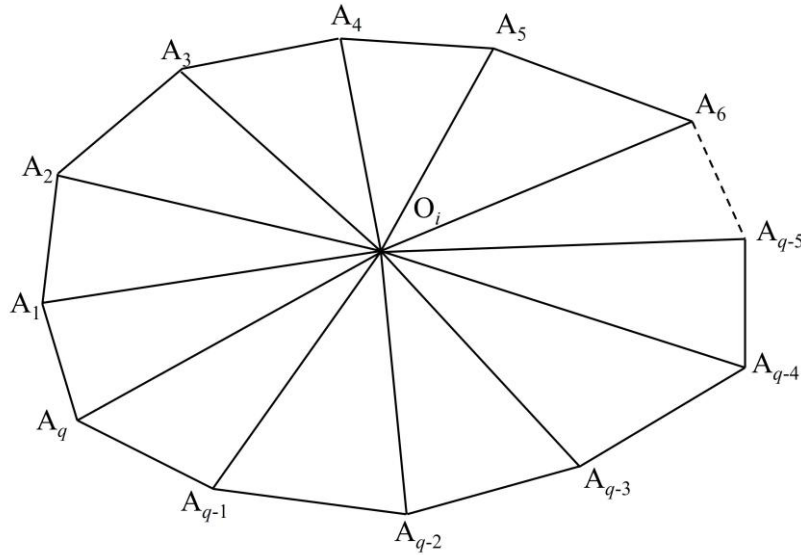


图 B.1 点云水平截面计算示意图

则第 i 个水平薄片的底面积按公式 (B.2) 计算：

$$S_i = \frac{1}{2} \left| \sum_{k=1}^q (x_k y_{k+1} - x_{k+1} y_k) \right| \quad (\text{B.2})$$

其中， (x_{q+1}, y_{q+1}) 即为 (x_1, y_1) 。

式中：

S_i ——第*i*个水平薄片的底面积， m^2 ；

(x_k, y_k) ——第*i*个水平薄片底面积上第*k*个点的坐标， m ；

(x_{k+1}, y_{k+1}) ——第*i*个水平薄片底面积上第*k*+1个点的坐标， m ；

q ——第*i*个水平薄片上点的数量，个。

B.2.3 水平薄片体积计算

第*i*个水平薄片的体积 V_i 按公式（B.3）计算。

$$V_i = \frac{1}{3} (S_i + S_{i+1} + \sqrt{S_i S_{i+1}}) \times t_i \quad (\text{B.3})$$

式中：

V_i ——第*i*个水平薄片体积， m^3 ；

S_i ——第*i*个水平薄片的底面积， m^2 ；

S_{i+1} ——第*i*+1个水平薄片的底面积， m^2 ；

t_i ——第*i*个水平薄片厚度， m 。

B.2.4 舱总容量计算

燃料舱总容量按公式（B.4）计算。

$$V_{\text{总}} = \sum_{i=1}^n V_i \quad (\text{B.4})$$

式中：

$V_{\text{总}}$ ——燃料舱总容量， m^3 ；

V_i ——第*i*个水平薄片的体积， m^3 ；

n ——水平薄片的数量，个。

附录 C

校准证书内页参考格式

校准结果及说明

校准对象信息				
送校单位：				
规格型号：				
船名、舱号：				
舱数：				
校准环境条件及地点				
温度	℃	湿度	%RH	
地 点				
校准使用的计量标准装置				
名称	测量范围	不确定度/准确 度等级/最大允 许误差	计量标准证书编 号	有效期至
本舱容表校准依据：				
校准结果：				
_____℃时内舱总容量：_____m ³ ；扩展不确定度： U_{rel} =_____（ $k=2$ ）。 本证书附容量表_____页。				
说明：				
1. 本舱容表所示容量是标准温度 20℃时的容量，非 20℃温度时应按实际情况对舱容进行修正。液体温度为 t ℃时舱体热膨胀修正如下：				
$V_t = V_{20}(1 + 3\alpha_t(t - 20))$				
式中：				
V_t ——液体温度为 t 时，对燃料舱体膨胀/收缩修正后的体积， m^3 ；				
V_{20} ——经纵、横倾修正后的舱容表的体积， m^3 ；				

α ——舱壁材料平均线膨胀系数， $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ；

t ——燃料的实际温度， $^{\circ}\text{C}$ 。

2. 若船舶存在倾斜时，应查对应倾斜的容量表或在查表前对液面高度进行修正。
3. 在舱容表所列倾斜和高度的范围内，对于不能直接从表中查阅的容量，应按内插法求得。
4. 当液面高于舱内管系时，舱容表所示容量不包括管线的容量。
5. 燃料舱的安全装载高度由使用单位自行决定。
6. 燃油舱改建或严重变形后应申请重新校准。

燃料舱容量及管线容量表

单位：m³

管线位置	D（*）	管线容量		舱容量 100%
		No.1	合计	
第一燃料舱				
第二燃料舱				
第三燃料舱				
第四燃料舱				
第五燃料舱				
第六燃料舱				
第七燃料舱				
第八燃料舱				
总计				

注：

1 D(*)——底量，当实高为零时的容量。当剩余燃料位于底量区域时，其体积可通过舱型用数学方法计算得到；当该舱扫舱干净，并经过校准机构人员的目视检查或者其它被认可的测量方法确认，剩余燃料体积为零。

2 舱容表所示容量不包括管线的容量。

证书编号：*****

校准单位：*****

校准日期：****年**月**日

共*页 第*页

示例图

燃料舱计量管位置图

证书编号: *****

校准单位: *****

校准日期: ****年**月**日

共*页 第*页

[illegible]

温度膨胀/收缩系数修正表

舱号:

[illegible]

证书编号: ***** 校准单位: ***** 校准日期: ****年**月**日

共*页 第*页

附录 D

测量不确定度评定示例

按照 JJF 1059.1 要求对燃料舱容量测量进行不确定度评定。

D.1 被测对象

以总容量 200m³的燃料舱作为校准对象，实测容积 197.455m³，平均宽度 y 为 3279mm，平均高度 z 为 7149mm，平均舱长 x 为 8423mm。

主要标准器：全站仪、激光测距仪。全站仪测角标准差：±2″；无棱镜测距标准差：±(2mm+2×10⁻⁶L)，分辨力为；激光测距仪最大允许误差为±2.0mm。

配套设备：水银温度计，最大允许误差为±0.5℃，最小分度值为 0.2℃；15m 量油尺，最小刻度为 1mm。

使用全站仪测量舱宽及对应舱高，使用激光测距仪测量舱长。

D.2 测量模型

$$V = \int_{x_r}^{x_f} \int_{z_0}^{z_1} y dz dx + \Delta V_{\text{计}} - V'$$

式中：

V ——燃料舱在 20℃ 的净容量值，m³；

x_f ——燃料舱前壁 x 坐标值，m；

x_r ——燃料舱后壁 x 坐标值，m；

z_0 ——燃料舱舱底高度坐标，m；

z_1 ——燃料舱舱顶高度坐标，m；

A_j ——第 j 个横剖面面积，m²。

V' ——燃料舱内构件与附件的总体积，m³；

$\Delta V_{\text{计}}$ ——体积计算时产生的容量变化，m³。

D.3 合成标准不确定度及灵敏系数

舱宽与对应点位舱高使用全站仪测量，认为具有正强相关性。输出量的相对合成方差按下式计算：

$$\left[\frac{u_c(V)}{V} \right]^2 = C_1^2 \left[\frac{u(y)}{y} \right]^2 + C_2^2 \left[\frac{u(z)}{z} \right]^2 + 2C_3^2 \frac{u(y)}{y} \frac{u(z)}{z} + C_4^2 \left[\frac{u(x)}{x} \right]^2 + C_5^2 \left[\frac{u(\Delta V_{\text{计}})}{V} \right]^2 + C_6^2 \left[\frac{u(V')}{V} \right]^2$$

以上灵敏系数值为 1。

D.4 不确定度分量的评定

D.4.1 舱宽测量引入的标准不确定度 $u(y)$ D.4.1.1 全站仪最大允许误差引入的标准不确定度分量 $u_1(y)$

由公式（4）可知，舱宽计算公式：

$$y = \sqrt{(y_A - y_B)^2}$$

全站仪中心点和 A 点在船宽方向水平夹角为 α_A 、垂直方向角为 β_A ，斜距为 r_A 。

全站仪中心点和 B 点在船宽方向水平夹角为 α_B 、垂直方向角为 β_B ，斜距为 r_B 。

即： $y_A = r_A \cos \beta_A \cos \alpha_A$ 、 $y_B = r_B \cos \beta_B \cos \alpha_B$ 。 则：

$$y = \sqrt{(r_A \cos \beta_A \cos \alpha_A - r_B \cos \beta_B \cos \alpha_B)^2}$$

设全站仪测角标准差： $\pm k$ ；无棱镜测距标准差： $\pm J$ 。

D.4.1.1.1 全站仪测距误差引入的标准不确定度分量 $u_{11}(y)$ ：

$$u_{11}(y) = J \sqrt{(\cos \beta_A \cos \alpha_A)^2 + (\cos \beta_B \cos \alpha_B)^2}$$

注： β 引入的舱宽测量不确定度可忽略。

D.4.1.1.2 全站仪测角误差引入的标准不确定度分量 $u_{12}(y)$

由水平角引入的不确定度分量：

$$u_{12}(y) = \frac{k}{206265} \sqrt{(r_A \cos \beta_A \sin \alpha_A)^2 + (r_B \cos \beta_B \sin \alpha_B)^2}$$

则： $u_1(y) = \sqrt{u_{11}^2(y) + u_{12}^2(y)}$ 。

由于 $u_1(y)$ 与计算舱宽的两点的测量斜距、水平角、竖直角均相关，按保守原则并便于计算，取计算结果最大值，此时 $\alpha_A = \beta_A = \alpha_B = \beta_B = 0$ 。

$$u_1(y) = \sqrt{u_{11}^2(y) + u_{12}^2(y)} = 2.828 \text{mm}。$$

D.4.1.2 温度测量产生的舱壁膨胀修正误差引入的标准不确定度分量 $u_2(y)$

温度测量时产生的舱壁膨胀修正误差按下式计算：

$$\Delta_1 = B \times \alpha \times \Delta T$$

取船舱钢板的线膨胀系数为： $\alpha = 12 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$

$$\Delta_1 = \beta \times \alpha \times \Delta T = \pm 3.279 \times 0.000012 \times 0.5 = \pm 0.02 \text{mm}$$

按均匀分布考虑，引入的标准不确定度分量为：

$$u_2(y) = \frac{\Delta_1}{\sqrt{3}} = 0.012\text{mm}$$

D.4.1.3 舱宽测量重复性引入的标准不确定度分量 $u_3(y)$

用全站仪重复测量同一位置舱宽 10 次，得到测量数据为 3336.1、3335.2、3336.8、3337.3、3335.0、3334.9、3336.7、3337.2、3335.3、3336.4，单位 mm。标准偏差为 0.92mm。

舱宽测量重复性引入的标准不确定度分量为：

$$u_3(y) = 0.92\text{mm}$$

综上，舱宽测量引入的相对合成标准不确定度分量为：

$$\frac{u(y)}{y} = \frac{\sqrt{u_1^2(y) + u_2^2(y) + u_3^2(y)}}{y} = \frac{2.974}{3279} = 9.07 \times 10^{-4}$$

D.4.2 舱长测量引入的标准不确定度 $u(x)$

D.4.2.1 激光测距仪最大允许误差引入的标准不确定度分量 $u_1(x)$

设激光测距仪最大允许误差为 Δ_2 ，均匀分布，则：

$$u_1(x) = \frac{\Delta_2}{\sqrt{3}} = \frac{2}{\sqrt{3}} = 1.155\text{mm}$$

D.4.2.2 温度测量产生的舱壁膨胀修正误差引入的标准不确定度分量 $u_2(x)$

温度测量时产生的舱壁膨胀修正误差按下式计算：

$$\Delta_3 = \beta \times \alpha \times \Delta T = \pm 8.423 \times 0.000012 \times 0.5 = \pm 0.05\text{mm}$$

按均匀分布考虑，引入的标准不确定度分量为：

$$u_2(x) = \frac{\Delta_3}{\sqrt{3}} = 0.029\text{mm}$$

D.4.2.3 舱长测量重复性引入的标准不确定度分量 $u_3(x)$

用激光测距仪重复测量同一位置舱宽 10 次，得到测量数据为 8421.1、8423.3、8424.8、8422.1、8423.6、8423.8、8423.9、8422.8、8424.1、8422.5，单位 mm。标准偏差为 1.088mm。

则舱长测量重复性引入的标准不确定度分量为：

$$u_3(x) = 1.088\text{mm}$$

舱长测量引入的相对合成标准不确定度分量为：

$$\frac{u(x)}{x} = \frac{\sqrt{u_1^2(x) + u_2^2(x) + u_3^2(x)}}{x} = \frac{1.587}{8423} = 1.884 \times 10^{-4}$$

D.4.3 舱高测量引入的标准不确定度 $u(z)$

D.4.3.1 全站仪最大允许误差引入的标准不确定度分量 $u_1(z)$

忽略全站仪架设高度引入的测量误差, 用于计算不确定度的舱高计算模型为:

$$z = r \sin \beta$$

D.4.3.1.1 全站仪测距误差引入的标准不确定度分量 $u_{11}(z)$:

$$u_{11}(z) = J \sin \beta$$

D.4.3.1.2 全站仪测角误差引入的标准不确定度分量 $u_{12}(z)$

$$u_{12}(z) = \frac{r \times k \times \cos \beta}{206265}$$

则: $u_1(z) = \sqrt{u_{11}^2(z) + u_{12}^2(z)}$ 。

由于 $u_1(z)$ 与计算舱宽的两点的测量斜距、竖直角相关, 按保守原则并便于计算, 取计算结果最大值, 此时 $\beta = 90^\circ$ 。

$$u_1(z) = 2\text{mm}$$

D.4.3.2 温度测量产生的舱壁膨胀修正误差引入的标准不确定度分量 $u_2(y)$

温度测量时产生的舱壁膨胀舱高修正误差按下式计算:

$$\Delta_2 = \pm 7149 \times 12 \times 10^{-6} \times 0.5 = \pm 0.04\text{mm}$$

按均匀分布考虑, 引入的标准不确定度分量为:

$$u_2(y) = \frac{\Delta_1}{\sqrt{3}} = 0.023\text{mm}$$

D.4.3.3 舱高测量重复性引入的标准不确定度分量 $u_3(y)$

用全站仪重复测量同一位置舱宽 10 次, 得到测量数据为 7147.7、7148.3、7148.2、7147.6、7149.2、7149.3、7149.5、7149.7、7148.3、7150.2, 单位 mm。标准偏差为 0.893mm。

舱高测量重复性引入的标准不确定度分量为:

$$u_3(y) = 0.893\text{mm}$$

综上, 舱高测量引入的相对合成标准不确定度分量为:

$$\frac{u(z)}{z} = \frac{\sqrt{u_1^2(z) + u_2^2(z) + u_3^2(z)}}{y} = \frac{2.191}{7148} = 3.065 \times 10^{-4}$$

D.4.4 软件计算引入的不确定度分量 $u(\Delta V_{\text{计}})$

D.4.4.1 剖面拟合引入的不确定度分量 $u_1(\Delta V_{\text{计}})$

计算剖面面积时先需对剖面进行分段三次样条曲线拟合，再进行积分求解剖面面积。该计算方法的相对误差为 0.005%，呈均匀分布，则剖面拟合引入的体积相对不确定度分量为：

$$\frac{u_1(\Delta V_{\text{计}})}{V} = \frac{0.005\%}{\sqrt{3}} = 2.887 \times 10^{-5}$$

D.4.4.2 体积计算引入的不确定度分量 $u_2(\Delta V_{\text{计}})$

体积计算采用辛氏算法，其最大计算误差为 0.1%，服从均匀分布，由此引入的相对标准不确定度分量为：

$$\frac{u_2(\Delta V_{\text{计}})}{V} = \frac{0.001}{\sqrt{3}} = 5.774 \times 10^{-4}$$

D.4.5 舱内构件的体积引入的标准不确定度分量 $u(\Delta V_{\text{构}})$

燃料舱内构件体积一般不超过舱总容量的 1%，测量相对误差不大于 10%，呈均匀分布，由舱内构件测量引入的相对标准不确定度分量为：

$$\frac{u(V')}{V} = \frac{0.01 \times 0.1}{\sqrt{3}} = 5.774 \times 10^{-4}$$

D.5 合成标准不确定度分析

表 D.1 标准不确定度汇总表

相对标准 不确定度 分量	不确定度来源	相对标准不确定 度分量值	灵敏系数	评定方法
$\frac{u(y)}{y}$	舱宽测量	9.07×10^{-4}	8.423	A 类+B 类
$\frac{u(x)}{x}$	舱长测量	1.884×10^{-4}	23.422	A 类+B 类

$\frac{u(z)}{z}$	舱高测量	3.065×10^{-4}	1	A 类+B 类
$\frac{u_1(\Delta V_{\text{计}})}{V}$	剖面拟合	2.887×10^{-5}	1	B 类
$\frac{u_2(\Delta V_{\text{计}})}{V}$	体积计算	5.774×10^{-4}	1	B 类
$\frac{u(\Delta V_{\text{构}})}{V}$	构件测量	5.774×10^{-4}	1	B 类

将各输入量代入合成标准不确定度公式，则容量测量引入的相对合成标准不确定度：

$$\frac{u_c(V)}{V}=1.475\times10^{-3}$$

D.6 相对扩展不确定度

燃料舱容积结果相对扩展不确定度取扩展因子取 $k=2$ ，可得该次试验结果的扩展不确定度为 $U=2.95\times10^{-3}$ 。
