



中华人民共和国国家计量检定规程

JJG XXX-XXXX

液化天然气船舶舱容量

LNG Ship's Tank 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

液化天然气船舶舱容量 检定规程

Verification Regulation of LNG

Ship's Tank Capacity

JJG XXX-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：

本规程委托全国容量计量技术委员会负责解释

本规程主要起草人：

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	(2)
3.1 术语	(2)
3.2 计量单位	(2)
4 概述	(3)
4.1 工作原理	(3)
4.2 结构	(3)
4.3 用途	(5)
5 计量性能要求	(5)
5.1 检定结果的扩展不确定度	(5)
5.2 最小计量高度	(6)
6 通用技术要求	(6)
6.1 建造要求	(6)
6.2 外观要求	(6)
6.3 安装要求	(6)
6.4 计量位置要求	(6)
6.5 图纸资料	(6)
7 计量器具控制	(7)
7.1 检定条件	(7)
7.2 检定项目	(9)
7.3 检定前准备及注意事项	(9)
7.4 检定方法	(10)
7.5 数据处理	(13)
7.6 检定结果处理	(19)
7.7 检定周期	(19)
附录 A LNG 舱尺寸测量法	(20)

附录 B	C 型液货舱压力修正	(30)
附录 C	LNG 舱容量检定记录表参考格式	(33)
附录 D	检定证书内页参考格式	(43)

引 言

本规程是以 JJF 1002—2010《国家计量检定规程编写规则》为基础性规范进行制订。

本规程是以国际法制计量组织的 OIML R 95—1990《船舶舱—通用要求》（Ship's tanks—General requirements）、GB/T 7727.2 船舶通用术语—总体设计（General terminology for ships—General design）、GB/T 7727.3 船舶通用术语—性能（General terminology for ships—Ship hydrostatics and hydrodynamics）、GB/T 24957 冷冻轻烃流体 船上膜式储罐和独立棱柱形储罐的校准 物理测量法（Refrigerated light hydrocarbon fluids — Calibration of membrane tanks and independent prismatic tanks in ships—Physical measurement）为基础，针对我国液化天然气船舶舱容量计量的现状，制订本规程。

本规程为首次发布。

液化天然气船舶舱容量检定规程

1 范围

本规程适用于新造、改造、修造和使用中的（50~100000）m³ 液化天然气船舶舱（以下简称“LNG 舱”）的首次检定、后续检定和使用中检查。

2 引用文件

本规程引用下列文件：

JJF 1009 容量计量术语及定义（Metrological Terms and Definitions for Capacity）

JJG 702 船舶液货计量舱容量（Ship's Liquid Cargo Tank Capacity）

JJG 184 液化气体铁路罐车容积检定规程（Verification Regulation of Volume of Rail Tankers for Liquefied Gases）

JJG 642 球形金属罐容量（Spherical Metal Tank Capacity）

JJG 266 卧式金属罐容量（Horizontal Metal Tank Capacity）

GB/T 7727.2 船舶通用术语—总体设计（General terminology for ships—General design）

GB/T 7727.3 船舶通用术语—性能（General terminology for ships—Ship hydrostatics and hydrodynamics）

GB/T 24957 冷冻轻烃流体 船上膜式储罐和独立棱柱形储罐的校准 物理测量法（Refrigerated light hydrocarbon fluids—Calibration of membrane tanks and independent prismatic tanks in ships—Physical measurement）

OIML R 95—1990 船舶舱—通用要求（Ship's tanks—General requirements）

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

3 术语和计量单位

3.1 术语

以下术语和定义适用于本规程。

3.1.1 液化天然气船舶舱 ship of liquefied natural gas

在船舶上为储存液化天然气（LNG）低温介质而设计的液货舱单元。

3.1.2 棱柱型液货舱 prismatic cargo tank

基于规则棱柱状三维几何构型设计制造的 LNG 舱。

3.1.3 球罐型液货舱 spherical type cargo tank

基于规则球形三维几何构型设计制造的 LNG 舱。

3.1.4 C 型液货舱 C type cargo tank

基于中部圆柱形主体结构、两端球形封头组合设计制造的 LNG 舱。

3.1.5 液位测量系统 automatic tankliquid level gauge system

通过液位传感器与数据采集装置，实现对 LNG 舱内介质液位界面测量的系统。

3.1.6 尺寸测量法 geometric dimension measurement method

通过精确测定 LNG 舱内关键结构部位的几何尺寸参数（如长度、宽度及直径等要素），再进行计算得到 LNG 舱容量的方法。

3.1.7 坐标测量法 geometric coordinate measurement method

采用高精度三维坐标测量系统对 LNG 舱内表面进行全域数据采集，并对离散坐标点云进行处理分析得到 LNG 舱容量的方法。

3.1.8 舱体总容量 cabin capacity

在测量条件下，LNG 舱舱壁构成的几何封闭空间，且包含内部所有附件结构在内的最大容量。

3.1.8 舱体净容量 cabin capacity

在测量条件下，舱体总容量扣除内部所有附件结构体积后的容量。

3.1.9 有效容量 effective capacity

舱体总容量扣除内部结构、气相空间和安全余量后，用于储存液态 LNG 的最大标准容量。

3.1.10 截面体 sectional geometry

相邻的两个呈水平状态或者垂直状态的截面，与舱壁共同围成一个空间几何体。

3.1.11 表载容量 table capacity

LNG 舱检定结果中所给出的，在标准温度（20℃）状态下的容量。

3.1.12 围护系统 cargo containment system

由主屏壁和次屏壁以及附属的绝热层和屏壁间等组成的用于围护货物的系统。

3.2 计量单位

体积（容量）单位：升，符号 L；立方米，符号 m^3 。

长（宽、高）度单位：毫米，符号 mm；米，符号 m。

温度单位：摄氏度，符号℃。

时间单位：秒，符号 s；分，符号 min；时，符号 h。

压力：帕，符号 Pa，兆帕，符号 MPa。

4 概述

4.1 工作原理

LNG 舱是基于超低温绝热围护系统、智能高效再液化技术及多重安全保障机制建造在船舶上的一种密闭金属容器，利用液位测量系统测量显示舱内液化天然气的液位及温度等参数，并通过有效的控制系统，保障液化天然气全周期储运作业的安全性与稳定性，是国家战略能源物资储运领域的核心计量器具。

LNG 舱容量的测量方法分为尺寸测量法和坐标测量法，其容量的测量模型为：

$$V = \sum V_i + \Delta V_A + \Delta V_T + \Delta V_H + \Delta V_P \quad (1)$$

式中：

V ——LNG 舱经修正后的净容量， m^3 ；

$\sum V_i$ ——LNG 舱体总容量， m^3 ；

ΔV_A ——LNG 舱内附件的体积， m^3 ；

ΔV_T ——LNG 舱纵倾时的容量修正值， m^3 ；

ΔV_H ——LNG 舱横倾时的容量修正值， m^3 ；

ΔV_P ——LNG 舱内表压力时的容量修正值， m^3 。

4.2 结构

LNG 舱由货物围护系统、舱壁、液位及测温系统、液货泵、进出管线及其附件组成。按照形状的不同，一般分为棱柱型液货舱（见图 1）、球罐型液货舱（见图 2）和 C 型液货舱等，其中 C 型液货舱又分为单圆筒液货舱（见图 3）、双体式液货舱（见图 4）和三体式液货舱（见图 5）。

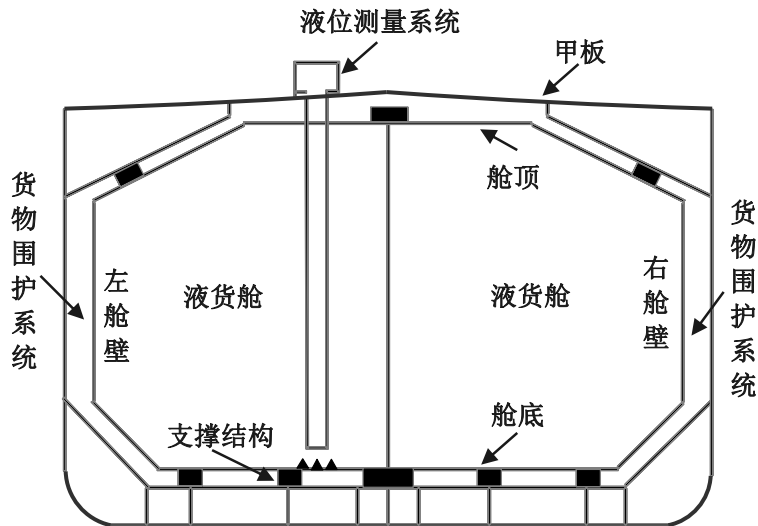


图 1 棱柱型液货舱结构示意图

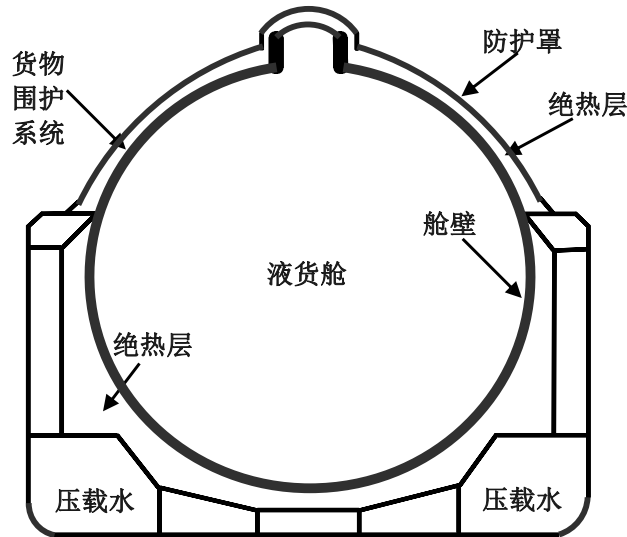


图 2 球罐型液货舱结构示意图

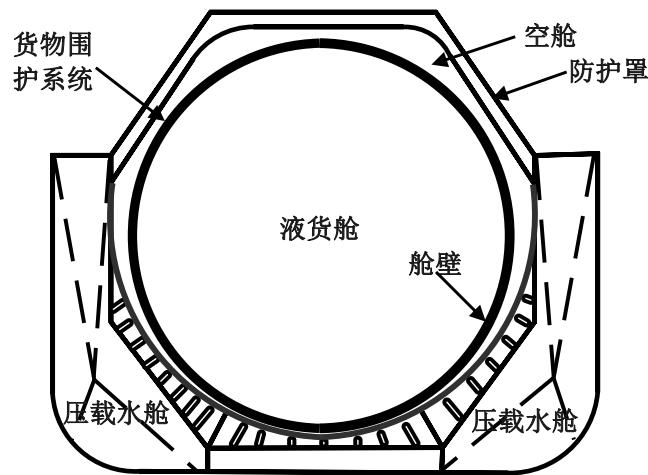


图 3 单圆筒（卧式）液货舱结构示意图

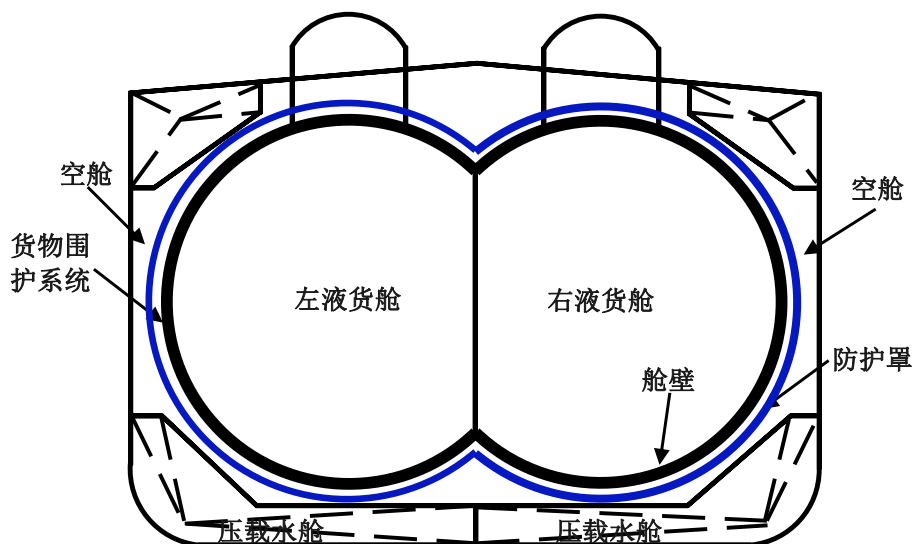


图 4 双体式液货舱结构示意图

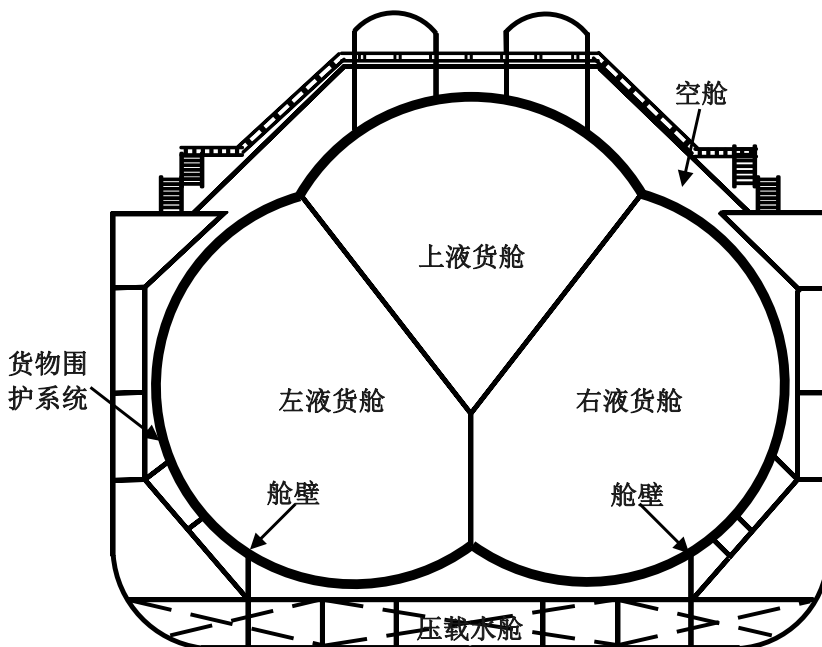


图 5 三体式液货舱结构示意图

4.3 用途

LNG 舱是广泛应用于液化气体行业中作为贸易交接和运输储存液化天然气的计量器具。

5 计量性能要求

5.1 检定结果的扩展不确定度

容量为 $(50\sim 300)\text{ m}^3$ (含 50 m^3) 的 LNG 舱, 容量检定结果的相对扩展不确定度为 0.3% , ($k=2$);

容量为 $(300\sim 100000)\text{ m}^3$ (含 300 m^3) LNG 舱, 容量检定结果的相对扩展不确定度

为 0.2%，(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，LNG 舱内液体的最小计量高度应大于 500mm。

6 通用技术要求

6.1 建造要求

6.1.1 LNG 舱的结构、外形、材料强度等均应符合相关建造要求。

6.1.2 LNG 舱货物围护系统的建造和安装应符合相关技术规范的要求，并经过密封性试验。

6.1.3 若 LNG 舱内设置非油（水）密舱壁或构件，则该舱壁或构件上应开孔，开孔位置和孔的面积应能使舱壁两侧液体高度保持一致。

6.2 外观要求

6.2.1 液化天然气船舶在明显的位置上应有船名、制造单位、建造时间等永久性铭牌或标识，LNG 舱在明显的位置上应有舱名永久性铭牌或标识。

6.2.2 LNG 舱内表面应经过平整度及围护系统检验，不应有明显的凹凸现象和影响容量的形变。

6.3 安装要求

LNG 舱应安装在船舶上稳定的基座或鞍座上，周围具有支撑结构和防震挡结构，保证围护系统不应有明显影响容量的形变。

6.4 计量位置要求

6.4.1 液位测量系统的安装应符合相关技术文件的要求，确保测量信号的准确传递和测量数据的准确可靠。

6.4.2 安装在 LNG 舱甲板上的液位测量系统应有明确的标记或标识。

6.4.3 液位测量系统在液舱内部的安装位置应避开液货泵进出口区域、机械振动显著区域以及流态扰动区域或其它动态载荷敏感区域。

6.4.4 下部计量点应选取在稳定位置，使得测量结果不确定度受下部计量点高度变化的影响可忽略。

6.5 图纸资料

申请检定时应提供以下能反映 LNG 舱实际新造、改造、修造情况的图纸及资料，具体包括：

- a) 反映 LNG 舱舱体型线的图样（型线图）；
- b) 反映 LNG 舱布置情况的图样（总布置图）；
- c) 反映 LNG 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 LNG 舱管系的图样（管系分布图）；
- e) 反映 LNG 舱液位测量系统安装位置的图样；
- f) 反映 LNG 舱舱体材料的资料；
- g) 反映 LNG 舱的其他资料。

7 计量器具控制

计量器具控制包括：首次检定、后续检定和使用中检查。

7.1 检定条件

7.1.1 检定环境要求

检定环境应满足以下要求：

- a) 检定应在非雨雪天气，环境温度在 -10°C ~ 35°C 的情况下进行。
- b) LNG 舱内无振动干扰源。
- c) LNG 舱内应无残油和沉积物等影响检定工作的其它杂物，无影响光电测量功能的悬浮灰尘颗粒。
- d) 避免直射光源对光电测量仪器产生干扰。

7.1.2 检定安全要求

7.1.2.1 在整个检定过程中，检定人员必须遵守相关的安全规定。

7.1.2.2 在整个检定过程中，液化天然气船舶应停止相关作业，关闭所有的进出管线并清空，避免交叉作业。

7.1.2.3 检定人员必须穿着防静电工作服、防护鞋，佩戴手套、安全帽，登高作业应佩戴安全带；空气呼吸器、防毒面具和护目镜等防护用品应根据现场实际情况选择佩戴。

7.1.2.4 检定人员应检查 LNG 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。

7.1.2.5 LNG 舱内氧气含量、可燃气体浓度、防爆条件和有害气体浓度等应符合相关安全要求。

7.1.3 检定技术要求

7.1.3.1 新建、改建的 LNG 舱必须经气密性、安全性能等相关试验后，再进行检定工作。

7.1.3.2 LNG 舱的检定一般应连续进行,如受干扰而中断检定也可继续进行,但必须做到:

a) 中断前的测量记录必须完整清晰。

b) 应进行多点复核测量,以保证中断前、后测量结果的连续性和准确性。

7.1.3.3 若发现 LNG 舱有异常变形,检定人员应尽量描绘出异常变形的详细草图,并进行额外测量,以更好的说明其原因。

7.1.3.4 使用电子测量设备时,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(如舱壁表层挂油、挂蜡;舱壁为抛光不锈钢等强反光材质;罐壁表层附着有黑色强吸光介质;环境强光直射等)时,应核查设备及环境条件对测量结果的影响。

7.1.3 检定设备

检定主要设备及技术参数见表 1,配套设备及技术参数见表 2。表 1 中设备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 主要设备及技术参数

设备名称	测量范围	准确度等级或最大允许误差	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。	
全站仪	(1.7~80) m	测角: $\pm 2''$ 测距: $\pm (2\text{mm}+2\times 10^{-6}L)$ L 为测量距离。	
激光测距仪	(0.5~50) m	$\pm (1.5\text{mm}+5\times 10^{-5}L)$ L 为测量距离。	

表 2 配套设备及技术参数

设备名称	测量范围	准确度等级或最大允许误差	备注
钢卷尺	(0~5) m	$\pm (0.3\text{mm}+0.2L)$ L 为测量距离, 单位: m	校准/检定证书应有修正值, 使用时须修正;

测厚仪	(1~50) mm	$1\text{mm} \leq H \leq 10\text{mm}: \pm 0.1\text{mm}$ $10\text{mm} < H \leq 50\text{mm}: \pm(0.1\text{mm} + 1\%H)$ H 为测量厚度, 单位: mm	具有涂层测厚和板材测厚功能。
温度计	-10℃~35℃	$\pm 0.5^\circ\text{C}$	不得使用水银温度计
水平仪	(0~15) m	$\pm 0.5\text{mm/m}$	至少具有 2 条水平线和 2 条垂直线
钢直尺	(0~300) mm	$\pm 0.5\text{mm}$	

7.2 检定项目

LNG 舱检定项目见表 3。

表 3 LNG 舱检定项目一览表

序号	项目	首次检定	后续检定	使用中检查
1	外观及一般性能检查	+	+	+
2	下部基准点测量	+	+	+
3	容量测量	+	+	-
注: 表中“+”表示需要检定的项目;“-”表示不需要检定的项目。				

7.3 检定前准备及注意事项

7.3.1 测量前 LNG 舱应完成安装, 舱内所有附属结构、进出管线应完成安装, 液位测量系统应完成安装调试, 舱内应无安装平台等影响测量其他物件。

7.3.2 采用光电测距仪器(如全站仪、三维激光扫描仪等)与周围环境温度平衡, 运输到测量现场后, 需要等待仪器适应周围环境温度, 仪器与周围环境温度每相差 1℃, 适应时间大约为 2min, 每次温度平衡适应时间至少需要 15min。

7.3.3 采用全站仪或三维激光扫描仪进行多站测量, 应设置至少 3 个的公共点(标志点、或靶球), 且保证每一站应至少测量 3 个公共点。

7.3.4 应设置两个参考目标点（可以是公共点），每站测量前和测量完成后应单独分别对参考目标点进行测量，以保证测量结果的准确可靠。

7.3.5 采用激光测距仪和钢卷尺应进行多次测量，直到连续 2 次测量结果不超过 1mm，取其平均值作为测量结果。

7.3.6 架设仪器时应使仪器与安装基座应连接稳固，安装基座稳定、无滑动，且不受外部振动影响。

7.4 检定方法

7.4.1 外观及一般性能检查

7.4.1.1 观察 LNG 舱的建造情况，应符合 6.1 的要求。

7.4.1.2 观察 LNG 舱的外观情况，应符合 6.2 的要求。

7.4.1.3 观察 LNG 舱的安装情况，应符合 6.3 的要求。

7.4.1.4 检查 LNG 舱的计量位置的情况，应符合 6.4 的要求。

7.4.2 下部基准点测量

7.4.2.1 位置测量

使用全站仪（或三维激光扫描仪或激光测距仪）测量液位测量系统在舱长和舱宽方向坐标值（ x ， y ），如图 6.1 所示，并将测量结果记录在记录表中，记录格式见附录 C。

7.4.2.2 下部基准点

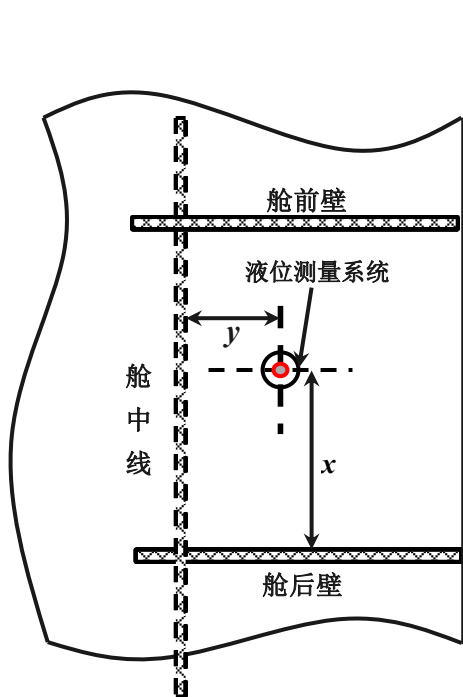


图 6.1 液位测量系统俯视图

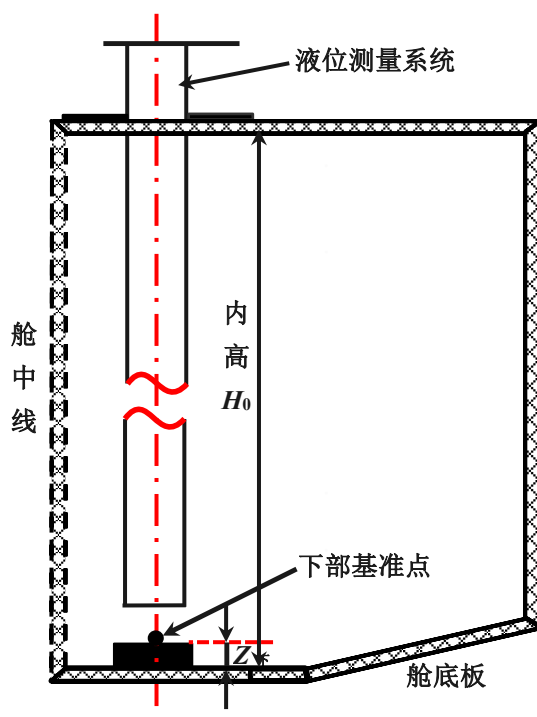


图 6.2 液位测量系统正视图

使用全站仪（或三维激光扫描仪或钢直尺）测量下部基准点在 LNG 舱高度方向的坐标值 z ，即下部基准点高度值，如图 6.2 所示，并将测量结果记录在记录表中，记录格式见附录 C。

7.4.3 容量测量

LNG 舱容量测量方法分为尺寸测量法和坐标测量法。规程正文中采用坐标测量法，尺寸测量法见附录 A。

7.4.3.1 舱体坐标测量

a) 棱柱型液货舱

1) 确定测量路线

棱柱型液货舱通常应选取 3 条测量路线，分别为舱中线、左舷舱中线以及右舷舱中线位置附近处。

2) 确定测站数

①在选定的测量路线上，依次从后舱壁至前舱壁方向上进行设站。

②设站间距一般为 10m~20m，每一测量路线上不得少于 3 站，且每设站间重叠区域应保证在三分之一以上。

③当舱空间较大时，可适当增加测量设站数，保证测量数据的完整性。

3) 布置测量标靶球或标志点

标靶球或标志点摆放时应保证相互间应具有一定的高度差，且应呈正三角形方式布设为宜，相邻两站之间应至少保证 3 个以及 3 个以上的公共标靶球或标志点。

在舱内最低点和液位测量系统的零点位置分别放置标靶或标志点，作为舱底零点起点标记和编制容量表的起点标记。

4) 建立测量坐标系

以舱底面的船中纵线与后舱壁所在平面的交点为原点，沿中纵线方向为 x 轴，沿舱宽方向为 y 轴，沿舱高方向为 z 轴建立测量坐标系（物方坐标系），分别在 x 轴、 y 轴和 z 轴上布设 1 个控制点，并记录其坐标值。

5) 架设仪器，使仪器处于水平状态，等待稳定时间。

6) 设置扫描参数

①分辨率设置：一般以中、低分辨率为宜，一般选择 3mm~10mm 的分辨率，也可根据舱体的大小和细节的要求选择适当的分辨率，但扫描总点数不少于 100 万点。

②扫描速度设置：一般选择（50000~200000）pts/s，如需要更高的质量的点云数据，

可适当降低扫描速度。

③精度设置：一般以中精度为宜，一般选择 0.5mm~3mm 的精度。

④视场角设置：视场角一般设置水平 0~360°，垂直 0~270°，细节扫描可依据细节部位来选择特定的视场角。

⑤工作距离设置：一般不超过 50m，但应根据实际情况进行选择。

7) 开始扫描

点击开始扫描键，对 LNG 舱舱体进行，直至扫描完成状态，查看并保存数据文件。

8) 重复上述 5)~7)，依次完成其他设站的扫描工作。

b) 球罐型液货舱

1) 确定测站数

设站应选在球罐型液货舱内靠近球心点的投影位置附近，当舱空间较大时，可适当增加测量设站数，保证测量数据的完整性。

2) 按照 7.4.3.1 a) 3) 布置测量标靶球或标志点。

3) 建立测量坐标系

以舱底最低点为原点，沿船舶中纵线方向为 x 轴，沿舱宽方向为 y 轴，沿舱高方向为 z 轴建立测量坐标系（物方坐标系），分别在 x 轴、 y 轴和 z 轴上布设 1 个控制点，并记录其坐标值。

4) 架设仪器，使仪器处于水平状态，等待稳定时间。

5) 按照 7.4.3.1 a) 6) 设置扫描参数

6) 开始扫描

点击开始扫描键，对 LNG 舱舱体进行，直至扫描完成状态，查看并保存数据文件。

7) 重复上述 4)~6)，依次完成其他设站的扫描工作。

c) C 型液货舱

1) 测量路线选择

单圆筒液货舱应沿舱底中纵线作为测量路线。双体式液货舱和三体式液货舱应分别选择左舷舱和右舷舱的舱底中纵线作为测量路线。

2) 确定测站数

①在选定的测量路线上，依次从后舱壁至前舱壁方向上进行设站。

②在每一测量路线上，沿筒体距前后封头与筒体对接处中心 $\frac{1}{8}L_T$ (L_T 为筒体长)、 $\frac{3}{8}L_T$ ，

选取 4 个测站，且每设站间重叠区域应保证在三分之一以上。

③当舱空间较大时，可适当增加测量设站数，保证测量数据的完整性。

3) 按照 7.4.3.1 a) 3) 布置测量标靶球或标志点。

4) 建立测量坐标系

以舱底面的船中纵线与封头和筒体对接处的交点为原点，沿中纵线方向为 x 轴，沿舱宽方向为 y 轴，沿舱高方向为 z 轴建立测量坐标系（物方坐标系），分别在 x 轴、 y 轴和 z 轴上布设 1 个控制点。

5) 架设仪器，使仪器处于水平状态，等待稳定时间。

6) 按照 7.4.3.1 a) 6) 设置扫描参数

7) 开始扫描

点击开始扫描键，对 LNG 舱舱体进行，直至扫描完成状态，查看并保存数据文件。

8) 重复上述 5) ~7)，依次完成其他设站的扫描工作。

7.4.3.2 构件测量

使用钢卷尺、直尺、测厚仪、三维激光扫描仪等设备对 LNG 舱内构件的几何尺寸（管线应测量其厚度）和起止高度进行测量。对于不能实际测量的构件，也可以采用设计图纸标注的数据。对于如形状复杂的构件，可以根据其质量和密度计算出体积。

7.4.3.3 壁厚测量

a) 棱柱型液货舱和 C 型液货舱

在纵向方向上选取 2 个测量剖面，每个剖面测量点数不少于 4 个点，且均匀分布；在前后舱壁上选取 2 个测量位置，每个测量位置测量点数不少于 4 个，采用超声波测厚仪测量所有点的厚度，取平均值作为该液货舱的壁厚。不能直接测量时，可采用设计图纸中的数据。

b) 球罐型液货舱

在球罐型液货舱选取两个不同高度的水平截面，在每个截面上至少选取 4 个测量点，且均匀分布，采用超声波测厚仪测量所有点的厚度，取平均值作为该液货舱的壁厚。不能直接测量时，可采用设计图纸中的数据。

7.5 数据处理

7.5.1 容量计算

7.5.1.1 数据预处理

a) 数据导入

将原始扫描数据导入到标配的点云处理软件中。

b) 点云数据配准

多站扫描需要进行点云配准，目的是将点云拼接成一个完整整体，扫描多站拼接可借助目标标靶进行拼接，也可采用点云约束等其他拼接方法，但拼接误差不应超过2mm。

c) 创建点云

从扫描数据中提取原始分辨率点云。

d) 点云分割分类

根据需要对点云数据进行滤波，去除舱内附件、遮挡等物的杂点，只保留舱壁点云数据。

e) 点云抽稀

原始分辨率的点云一般都有冗余，需要进行抽稀，通过设置采样率或随机采样参数，降低数据密度，抽稀后点云数据不应少于原始数量的60%。

f) 点云坐标转换

将取样后的点云数据，转化成测量坐标系下点云数据，并保存导出作为原始记录。

7.5.1.2 水平截面面积计算

将舱体沿着液位测量系统所在垂直测量轴方向取 n 个截面（相邻截面间距 Δd 一般为5mm~10mm），在同一高度 h_i 处的水平截面上有 m 个坐标点 $C_1(x_1, y_1, h_i)$ 、 $C_2(x_2, y_2, h_i)$ 、 $\dots$ 、 $C_{m-1}(x_{m-1}, y_{m-1}, h_i)$ 、 $C_m(x_m, y_m, h_i)$ ，计算中心点坐标为 $P_i(x_0, y_0, h_i)$ ，如图7所示。

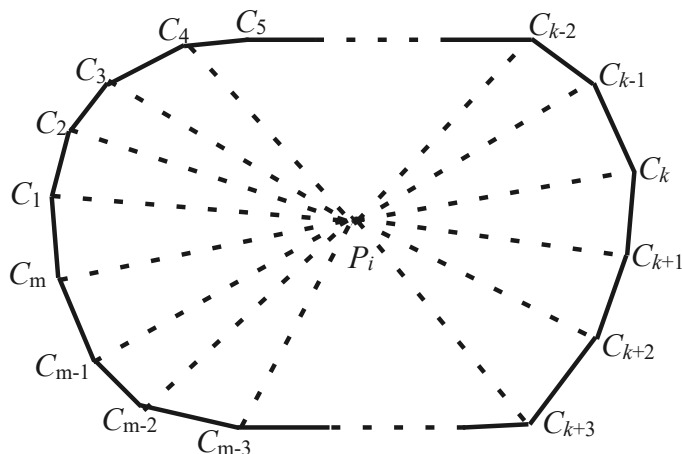


图7 点云水平截面计算示意图

则第*i*个水平截面的面积按公式（2）计算：

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

当*k* = *m*时，(*x*_{*m*+1}, *y*_{*m*+1})被视为(*x*₁, *y*₁)，即起点是循环的。

式中：

S_i——第*i*个水平截面的面积，m²；

(*x_k*, *y_k*)——第*i*个水平截面上第*k*个点的坐标，m；

(*x_k*+1, *y_k*+1)——第*i*个水平截面上第*k*+1个点的坐标，m；

m——第*i*个水平截面上点的数量，个。

7.5.1.3 截面体体积计算

第*i*个水平截面与第*i*+1个水平截面的截面体体积*V_i*按公式（3）计算。

$$V_i = \frac{1}{3} (S_i + S_{i+1} + \sqrt{S_i S_{i+1}}) \times \Delta d \quad (3)$$

式中：

V_i——第*i*个水平截面与第*i*+1个水平截面的截面体体积，m³；

S_i——第*i*个水平截面的面积，m²；

S_i+1——第*i*+1个水平截面的面积，m²；

Δd ——第*i*个水平截面与第*i*+1个水平截面之间的距离，m；

7.5.1.4 舱体总容量计算

LNG舱从上到下共截取*n*个截面，一共构成*n*-1个截面体，则LNG舱体总容量按公式（4）计算。

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

式中：

V_总——LNG舱体总容量，m³；

V_i——第*i*个截面体的体积，m³；

n——水平截面的数量，个；

7.5.1.5 舱体净容量计算

按照测量构件的形状、尺寸和位置等信息，计算LNG舱内所有构件体积 $V_{\text{构}}$ ，则LNG舱体净容量按公式（5）计算。

$$V_{\text{净}} = V_{\text{总}} + V_{\text{构}} \quad (5)$$

式中：

$V_{\text{净}}$ ——LNG舱体净容量， m^3 ；

$V_{\text{总}}$ ——LNG舱体总容量， m^3 ；

$V_{\text{构}}$ ——LNG舱体内所有构件体积， m^3 ；

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

7.5.1.6 任意液面高度下净容量计算

液面高度为 z_j 下的净容量按公式（6）计算。

$$V_{\text{净}j} = V_{z_j} - V'_j \quad (6)$$

式中：

$V_{\text{净}j}$ —— z_j 液面高度下舱的净容量， m^3 ；

V_{z_j} —— z_j 液面高度下舱的总容量， m^3 ；

V'_j —— z_j 液面高度下的构件总体积， m^3 。

7.5.1.7 表载容量计算

表载容量是标准温度（20℃）状态下的容量，而测量环境温度为 t ℃时，需对上述计算的容量进行修正，按公式（7）计算LNG舱表载容量。

若测量的几何尺寸已修正至标准温度（20℃）时，计算出的液面高度为 z_j 下的净容量即为表载容量。

当膜式液化气体舱的结构或施工材料热变形对体积影响不显著时，可直接采用测量环境温度下的容量值作为表载容量。

$$V_{\text{表}} = V_{\text{净}} [1 - 3\alpha(t - 20)] \quad (7)$$

式中：

$V_{\text{表}}$ ——将温度修正到标准温度下的净容量值， m^3 ；

$V_{\text{净}}$ ——测量时环境温度 t ℃下的净容量值， m^3 ；

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

t ——测量时的环境温度， $^{\circ}\text{C}$ 。

7.5.2 纵倾修正计算

7.5.2.1 纵倾角度计算

当船舶发生纵倾时，为减小计量位置不在自由液面几何中心而引起的纵向误差，需对液面高度测量值进行修正，此时纵倾角度为 α ，其计算公式为：

$$\alpha = \arctan \left(\frac{T_A - T_F}{L_{\text{BDM}}} \right) \quad (8)$$

式中：

α ——船舶纵倾角度， $^{\circ}$ ；

T_A ——船艏水尺读数， m ；

T_F ——船艉水尺读数， m ；

L_{BDM} ——船舶的水尺间长， m 。

注：当 $\alpha > 3^{\circ}$ 时，不予修正，应调整船舶吃水差。

7.5.2.2 纵倾修正值计算

液位测量系统处 x_4 液面高度的纵倾修正值 Δz 的计算：

$$\Delta z = (x_3 - x_4) \tan \alpha \quad (9)$$

式中：

Δz ——船舶纵倾时液面高度修正值， mm ；

x_3 ——自由液面型心的纵坐标， mm ；

x_4 ——液位测量系统所在位置的纵坐标， mm ；

α ——船舶纵倾角度， $^{\circ}$ 。

注：液位测量系统在舱几何中心后，修正值为负，否则修正值为正。

7.5.3 横倾修正计算

当船舶发生横倾时，为减小计量位置不在自由液面几何中心而引起的横向误差，需对液面高度测量值进行修正，此时横倾角度为 β 。

注：当 $\beta > 5^\circ$ 时，不予修正，应调整船舶横倾。

液位测量系统处 y_4 液面高度的横倾修正值 $\Delta z'$ 的计算：

$$\Delta z' = (y_3 - y_4) \tan \beta \quad (10)$$

式中：

$\Delta z'$ ——船舶横倾时液面高度修正值，mm；

y_3 ——自由液面型心的横坐标，mm；

y_4 ——液位测量系统所在位置的横坐标，mm；

β ——横倾角度， $^\circ$ 。

注：液位测量系统在舱几何中心右侧，修正值为负，否则修正值为正。

7.5.5 压力修正计算

7.5.5.1 棱柱型液货舱压力修正

棱柱型液货舱因其设计结构及其他等原因，不适宜运载带压液化天然气，因此棱柱型液货舱一般应在常压或微压状态时使用，不进行压力修正。

7.5.5.2 球罐型液货舱压力修正

球罐型液货舱压力修正系数 δ 应按下列公式计算。

$$\delta = 1 + \frac{3PR}{2eE} (1 - \sigma) \quad (11)$$

式中：

δ ——球罐型液货舱压力修正系数；

P ——球罐型液货舱内压力，MPa；

R ——球罐型液货舱的平均内直径，m；

σ ——泊松比，即横向应变与纵向应变之比；

e ——球罐型液货舱材料平均厚度，m；

E ——球罐型液货舱材料的弹性模量；

7.5.5.3 C 型液货舱压力修正

液化气体舱总体积压力修正系数按公式（18）计算，具体计算过程详见附录 B。

$$C_{pv} = \frac{V_c \times C_{pvc} + V_e \times C_{pve}}{V_c + V_e} \quad (18)$$

式中：

C_{pv} ——液化气体舱总体积压力修正系数；

V_c ——液化气体舱中间圆柱体的体积， m^3 ；

V_e ——液化气体舱半球端体积， m^3

7.6 检定结果的处理

经检定合格的 LNG 舱发给检定证书，检定证书格式见附录 C。经检定不合格的 LNG 舱，出具检定结果通知书，并注明不合格项目，其内页格式同检定证书，不得作为计量舱使用。

7.7 检定周期

7.7.1 LNG 舱的检定周期一般不超过 3 年。

7.7.2 LNG 舱改建、严重变形、货舱液位测量系统位置发生变化，导致检定结果受到怀疑时，应按首次检定重新申请检定。

附录 A

LNG 舱尺寸测量法

A.1 棱柱型液货舱

A.1.1 宽度测量

a) 测量位置选取

- 1) 测量位置的选取应尽可能均匀分布，且能够反映液舱长度方向的变化情况。
- 2) 测量位置个数不少于四个，在曲率变化较大处，可适当增加测量个数。
- 3) 测量位置应包含液舱舱壁所在的剖面和有明显变化的剖面。
- 4) 每一测量位置宽度测量不得少于 4 层，且尽可能均匀分布，能够反映液舱高度方向的变化情况。

b) 测量方法

采用测距仪直接测量出各测量位置的宽度值，或采用全站仪测量各测量位置上的两端点坐标值 $A_i(x_{Ai}, y_{Ai}, z_{Ai})$ 和 $B_i(x_{Bi}, y_{Bi}, z_{Bi})$ ，利用公式(A.1)计算出两点的距离值 A_iB_i 。

如图 A.1 所示，测量图中的宽度值 W_b 、 W_m 、 W_u 。

$$A_iB_i = \sqrt{(x_{Ai} - x_{Bi})^2 + (y_{Ai} - y_{Bi})^2 + (z_{Ai} - z_{Bi})^2} \quad (\text{A.1})$$

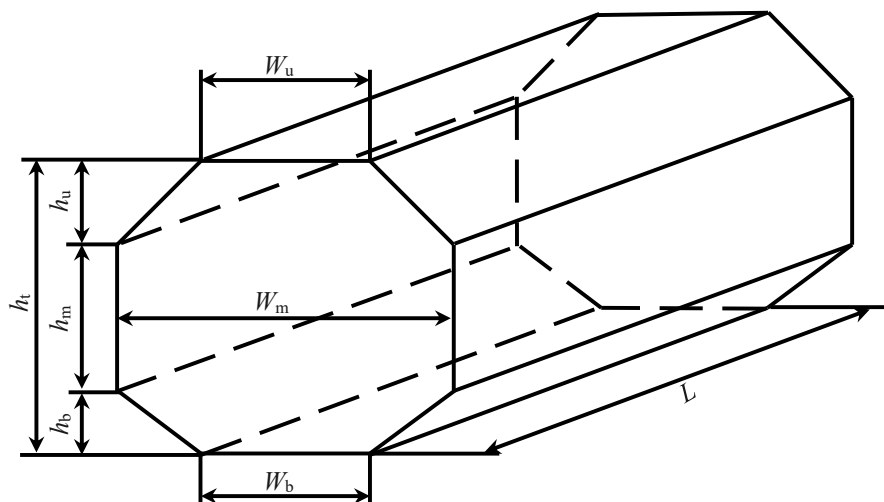


图 A.1 棱柱型液货舱几何尺寸测量图

A.1.2 长度测量

a) 测量位置选取

- (1) 测量位置的选取应尽可能在横向（即宽度）方向上均匀分布，且不少于三个。
- (2) 每一测量位置上至少在 4 个不同高度处进行测量，且尽可能均匀分布。

b) 测量方法

按照 A.1.1 b) 的方法测量各测量位置处的长度值，取平均值作为棱柱型液货舱的长度值 L 。

A.1.3 高度测量

按照 A.1.1 b) 的方法测量图 A.1 中各剖面拐点处的高度值 h_b 、 h_m 、 h_u 和 h_t 。

A.1.4 舱体总容量计算

A.1.4.1 截面面积计算

各测量位置处的截面面积 S_i 为截面 $ABGH$ 的面积 S_1 、 $BCFG$ 的面积 S_2 ， $CDEF$ 的面积 S_3 之和，如图 A.2 所示，可按公式 (A.2) 计算：

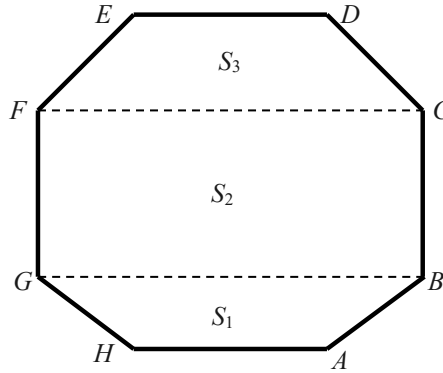


图 A.2 棱柱型液货舱截面面积计算示意图

$$S_i = S_1 + S_2 + S_3 = \frac{(W_{bi} + W_{mi})}{2} \times h_{bi} + W_{mi} \times h_{mi} + \frac{(W_{mi} + W_{ui})}{2} \times h_{ui} \quad (A.2)$$

式中：

S_i ——第 i 个测量位置处的截面面积， m^2 ；

S_1 ——第 i 个测量位置处的截面 $ABGH$ 的面积， m^2 ；

S_2 ——第 i 个测量位置处的截面 $BCFG$ 的面积， m^2 ；

S_3 ——第 i 个测量位置处的截面 $CDEF$ 的面积， m^2 ；

W_{bi} 、 W_{mi} 、 W_{ui} 、 h_{bi} 、 h_{mi} 、 h_{ui} ——第 i 个测量位置处的几何尺寸， m 。

A.1.4.2 舱体总容量计算

舱体总容量计算按照公式 (A.3) 计算。

$$V = \sum_{i=1}^n \left[\frac{1}{3} (S_i + S_{i+1} + \sqrt{S_i S_{i+1}}) \times \Delta d \right] \quad (A.3)$$

式中：

V ——LNG 舱舱体总容量， m^3 ；

S_i ——第 i 个测量位置处的截面面积， m^2 ；

S_{i+1} ——第 $i+1$ 个测量位置处的截面面积， m^2 ；

Δd ——第 i 个与第 $i+1$ 个测量位置的纵坐标的差值， m 。

A.2 球罐型液货舱

A.2.1 竖向直径测量

如图 A.2，在竖向直径的位置，利用激光测距仪直接测量出球罐型液货舱的竖向直径 d_v ，或采用全站仪测量竖向直径两端点坐标值 $A_i(x_{Ai}, y_{Ai}, z_{Ai})$ 和 $B_i(x_{Bi}, y_{Bi}, z_{Bi})$ ，利用公式 (A.1) 计算出两点的距离值 A_iB_i ，即为竖向直径 d_v 。

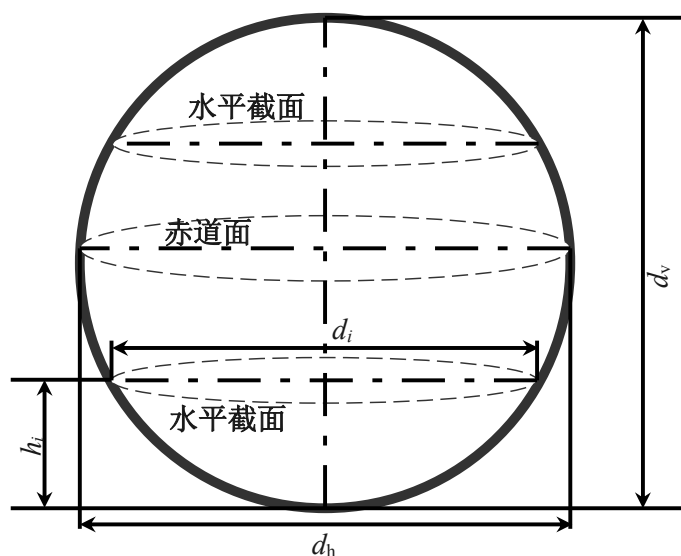


图 A.2 球罐型液货舱几何尺寸测量图

A.2.2 赤道面直径测量

在赤道直径的位置，利用激光测距仪或者全站仪按照 A.1.1 b) 的方法，测量出球罐型液货舱的赤道面直径，再选取两个位置，利用同样的方法测量出赤道面直径，其三次测量的平均值作为球罐型液货舱的赤道面直径 d_h 。

A.2.3 水平截面直径测量

在赤道面上、下位置分别至少选取 3 个水平截面，且应可能均匀分布，利用激光测距仪或者全站仪按照 A.1.1 b) 的方法，直接测量出水平截面的高度 h_i 和直径 $d_{i,1}$ ，再 2 个不同的测量位置，测量出水平截面的直径 $d_{i,2}$ 和 $d_{i,3}$ ，取三次测量的平均值作为球罐型液货舱的该水平截面直径测量 d_i 。

A.2.4 舱体总容量计算

A.2.4.1 截面面积计算

球罐型液货舱的水平截面为圆面，水平截面面积为 S_i ，可按公式（A.4）计算：

$$S_i = \frac{\pi}{4} d_i^2 \quad (\text{A.4})$$

式中：

S_i ——第 i 个水平截面的面积， m^2 ；

d_i ——第 i 个水平截面的直径， m ；

A.2.4.2 舱体总容量计算

利用多个水平截面的高度 h_i 和面积 S_i ，采用样条曲线拟合型线的方法，得到 $S = f(z)$ ，

则舱体总容量按公式（A.5）计算：

$$V = \int_0^{d_v} S dz \quad (\text{A.5})$$

式中：

V ——LNG 舱舱体总容量， m^3 ；

d_v ——球罐型液货舱的竖向直径， m ；

S ——拟合出的随高度变化的截面面积函数， m^2 。

A.3 C 型液货舱

A.3.1 单圆筒液货舱

A.3.1.1 截面横竖直径测量

a) 位置选取

在液货舱体内沿筒体轴向封头、距封头与筒体对接处中心 $\frac{1}{8}L_T$ （ L_T 为筒体长）、 $\frac{3}{8}L_T$ ，确定 I、II、III、IV、V、VI 共 6 个测量位置，如图 A.3 所示，在液货舱纵向变化较大处，可根据实际情况适当增加测量位置。

b) 测量方法

利用激光测距仪或者全站仪按照 A.1.1 b) 的方法，分别测量 6 个截面的横直径 d_h 和竖直径 d_v 。

A.3.1.2 长度测量

利用激光测距仪或者全站仪按照 A.1.1 b) 的方法，测量图 A.3 中的长度值 L_T 、 L_N 。

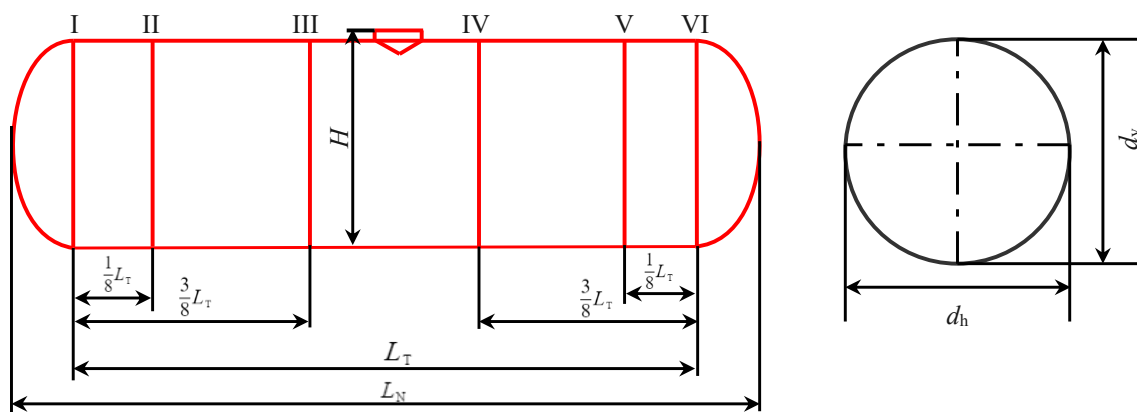


图 A.3 单圆筒液货舱尺寸测量图

A.3.1.3 舱体总容量计算

a) 圆筒部分容量计算

圆筒部分截面示意图如图A.4所示，圆筒部分的总容量 V_1 ，按公式（A.6）计算：

$$V_1 = \frac{\pi D_1^2 L_T}{4} = \pi R_1^2 L_T \quad (\text{A.6})$$

式中：

V_1 ——圆筒部分的总容积， m^3 ；

D_1 ——圆筒部分的平均内直径， m ；

R_1 ——圆筒部分的平均内半径， m ；

L_T ——圆筒部分的总长， m ；

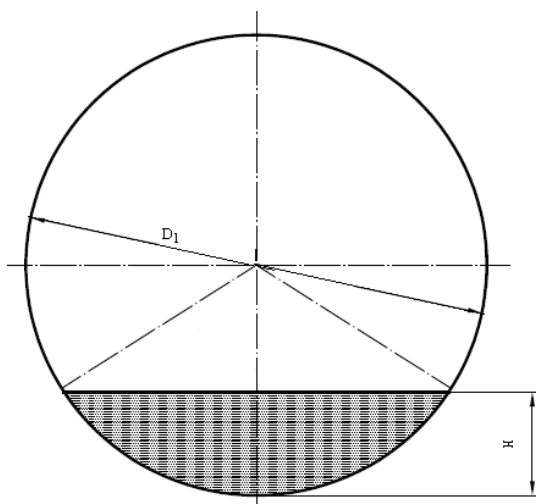


图 A.4 圆筒部分截面示意图

b) 两端封头部分容量计算

两端封头按球缺型几何体计算，其总容量按公式（A.7）计算：

$$V_2 = \frac{\pi h}{3} (3R_2^2 + h^2) \quad (\text{A.7})$$

式中：

V_2 ——两端封头部分的总容量， m^3 ；

R_2 ——两端封头部分底面的内半径， m ；

h ——两端封头部分的平均内高， m 。

c) 舱体总容量计算

舱体总容量按公式（A.8）计算

$$V = V_1 + V_2 \quad (\text{A.8})$$

式中：

V ——LNG舱舱体总容量， m^3 ；

V_1 ——圆筒部分的总容积， m^3 ；

V_2 ——两端封头部分的总容量， m^3 。

A.3.2 双体式液货舱

A.3.2.1 截面尺寸测量

a) 位置选取

在液货舱体内沿筒体轴向封头、距封头与筒体对接处中心 $\frac{1}{8}L_T$ （ L_T 为筒体长）、 $\frac{3}{8}L_T$ ，确定Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ、Ⅵ共6个测量位置，如图A.5（左图）所示，在液货舱纵向变化较大处，可根据实际情况适当增加测量位置。

b) 测量方法

利用激光测距仪或者全站仪按照A.1.1 b)的方法，分别测量4个截面的横直径 d_h 、竖直径 d_1 、 d_2 和公共弦长 d_3 。

A.3.2.2 长度测量

分别在舱体前后左右封头处，利用激光测距仪或者全站仪按照A.1.1 b)的方法，分别测量左右液货舱中的长度 L_T 、 L_N 。

A.3.2.3 舱体总容量计算

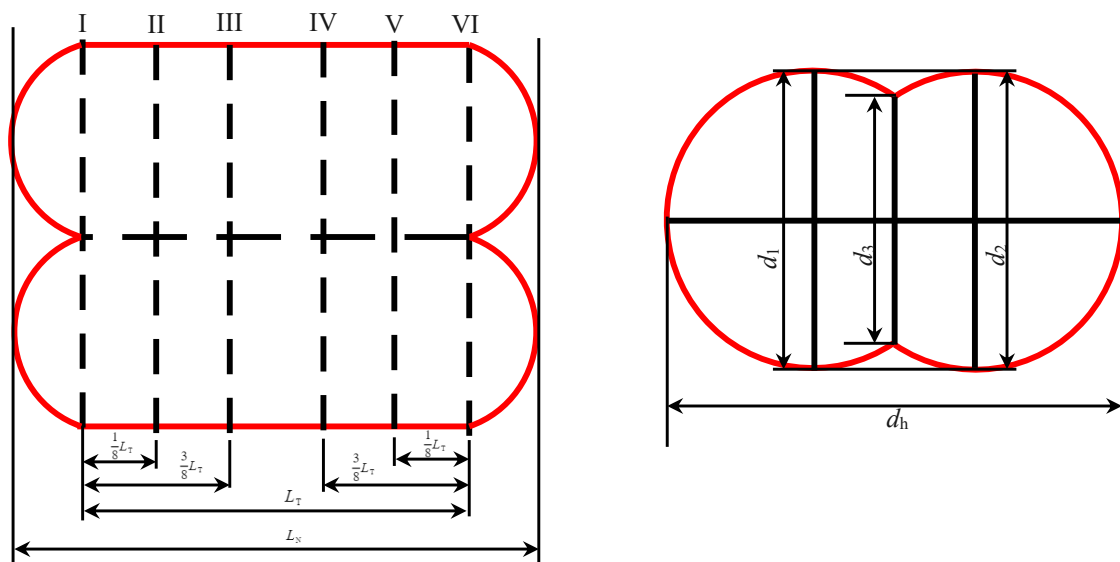


图 A.5 双体式液货舱尺寸测量图

a) 双体式圆筒部分容量计算

双体式圆筒部分截面示意图如图A.6所示，双体式圆筒部分的总容量 V_1 ，按公式(A.9)计算：

$$V_1 = 2L_T \left[R_1^2 \left(2\pi - \arccos \frac{a}{R_1} \right) + a\sqrt{R_1^2 - a^2} \right] \quad (\text{A.9})$$

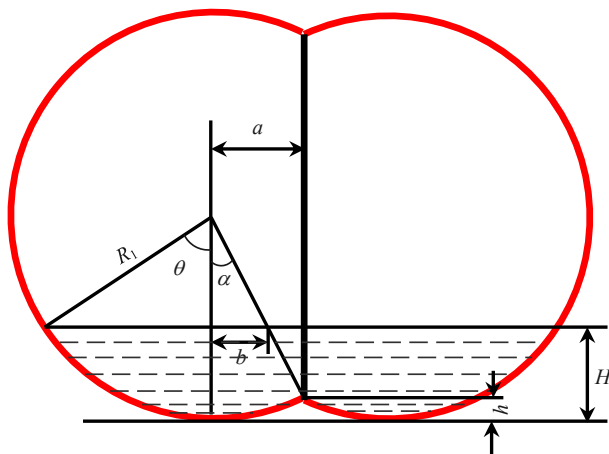
式中：

V_1 ——圆筒部分的总容量， m^3 ；

a ——圆筒部分的圆心到公共弦的距离， m ；

R_1 ——圆筒部分的平均内半径， m ；

L_T ——圆筒部分的总长， m ；



图A.6 双体式圆筒部分截面示意图

b) 两端封头部分容量计算

两端封头按球缺型几何体计算，其总容量按公式（A.7）计算。

c) 舱体总容量计算

舱体总容量按公式（A.10）计算

$$V = V_1 + 2V_2 \quad (\text{A.10})$$

式中：

V ——LNG舱舱体总容量， m^3 ；

V_1 ——圆筒部分的总容积， m^3 ；

V_2 ——两端封头部分的总容量， m^3 。

A.3.3 三体式液货舱

A.3.3.1 截面尺寸测量

a) 位置选取

在液货舱体内沿筒体轴向封头、距封头与筒体对接处中心 $\frac{1}{8}L_T$ (L_T 为筒体长)、 $\frac{3}{8}L_T$ ，确定 I、II、III、IV、V、VI 共 6 个测量位置，如图 A.7（左图）所示，在液货舱纵向变化较大处，可根据实际可根据实际情况适当增加测量位置。

b) 测量的选取

在液货舱体截面每一段圆弧的四等分附近分别选择一点，作为测量点，如图 A.7（右图）弧 AB 上的点 M 和 N 。

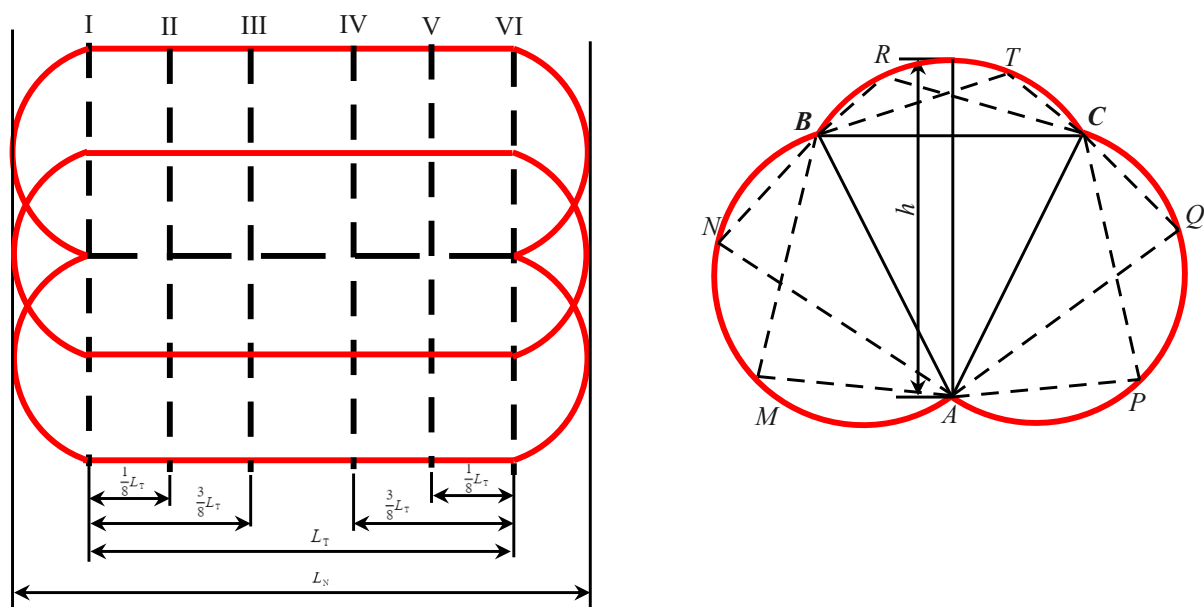


图 A.7 三体式液货舱尺寸测量图

c)利用激光测距仪或者全站仪按照 A.1.1 b)的方法,分别测量 6 个截面的 AB 、 AC 、 BC 、 AM 、 BM 、 AN 、 BN 、 AP 、 AQ 、 CP 、 CQ 、 BR 、 BT 、 CR 、 CT 的长度值和高度 h 。

A.3.3.2 长度测量

分别在舱体前后左右封头处,利用激光测距仪或者全站仪按照 A.1.1 b)的方法,分别测量液货舱中的长度 L_T 、 L_N 。

A.3.3.3 舱体总容量计算

a) 三体式圆筒部分半径计算

根据测量三个圆弧的两个内接三角形的三个边长 a_i 、 b_i 、 c_i ,按公式 (A.11) 计算两个三角形外接圆半径,取平均值作为该圆弧的半径 R_i 。

$$R_i = \frac{a_i b_i c_i}{4\sqrt{p_i(p_i - a_i)(p_i - b_i)(p_i - c_i)}} \quad (\text{A.11})$$

式中:

R_i ——圆筒部分圆弧所在圆的半径, m;

a_i 、 b_i 、 c_i ——内接三角形的三个边长, m;

p_i ——内接三角形的周长的一半,即 $p_i = \frac{a_i + b_i + c_i}{2}$, m;

b) 三体式圆筒部分容量计算

三体式圆筒部分截面示意图如图A.8所示,双体式圆筒部分的总容量 V_1 ,按公式 (A.12) 计算:

$$V_1 = L_T \left[R_1^2 \left(\arccos \left(\frac{R_1 - h_2 + h_1}{R_1} \right) + \alpha \right) - (R_1 - h_1 - h_2) \sqrt{2R_1(h_1 + h_2) - (h_1 + h_2)^2} + ah_2 \right. \\ \left. - a\sqrt{2R_1h_1 - h_1^2} + R_3^2 \arccos \left(\frac{R_3 - h + h_2}{R_3} \right) - (R_3 - h + h_2) \sqrt{R_3^2 - (R_3 - h + h_2)^2} \right] \quad (\text{A.12})$$

式中:

V_1 ——圆筒部分的总容量, m^3 ;

a ——图A.8中 AJ 的长度, m;

R_1 ——左右圆筒部分的平均内半径, m;

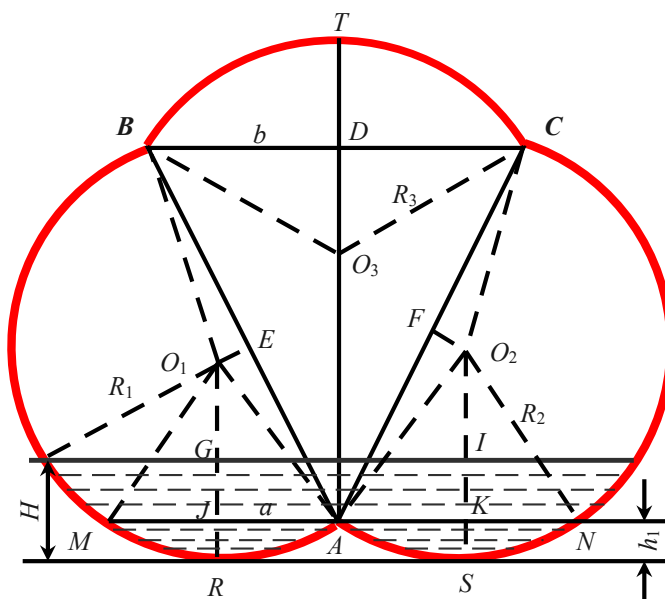
R_3 ——上部圆筒部分的平均内半径，m；

h_1 ——图A.8中点 A 到舱底的距离，m；

h_2 ——图A.8中 AD 的长度，m；

h ——图A.8中 AT 的长度，m；

L_T ——圆筒部分的平均总长，m。



图A.8 三体式圆筒部分截面示意图

b) 两端封头部分容量计算

两端封头按球缺型几何体计算，其总容量按公式 (A.7) 计算。

c) 舱体总容量计算

舱体总容量按公式 (A.13) 计算

$$V = V_1 + 3V_2 \quad (\text{A.13})$$

式中：

V ——LNG舱舱体总容量， m^3 ；

V_1 ——圆筒部分的总容积， m^3 ；

V_2 ——两端封头部分的总容量， m^3 。

附录 B

C 型液货舱压力修正

B.1 C 型液货舱封头部分压力修正计算

B.1.1 封头部分半径增加量

封头部分半径增加量按公式 (B.1) 计算:

$$\frac{\delta r_e}{R} = \frac{(P_r - P) \times R}{2eE} (1 - \sigma) \quad (\text{B.1})$$

式中:

δr_e ——封头部分半径的增量, m;

R ——封头部分半径, m;

P_r ——舱内压力, Pa;

P ——舱外压力, Pa;

e ——舱材料厚度, m;

E ——舱材料的弹性模量, Pa;

σ ——泊松比。

B.1.2 封头部分体积压力修正系数

封头部分体积压力修正系数按公式 (B.2) 计算:

$$C_{pve} = 1 + \frac{3(P_r - P) \times R}{2eE} (1 - \sigma) \quad (\text{B.2})$$

式中:

C_{pve} ——封头部分体积压力修正系数。

R ——封头部分半径, m;

P_r ——舱内压力, Pa;

P ——舱外压力, Pa;

e ——舱材料厚度, m;

E ——舱材料的弹性模量, Pa;

σ ——泊松比。

B.2 C 型液货舱中间圆柱体部分压力修正计算

B.2.1 C 型液货舱中间圆柱体沿轴线方向长度增加量按公式 (B.3) 计算

$$\frac{\delta W_c}{W_c} = \frac{(P_r - P) \times R'}{2eE} (1 - 2\sigma) \quad (\text{B.3})$$

式中:

δW_c ——中间圆柱体沿轴线方向长度增加量, m。

W_c ——中间圆柱体沿轴线方向长度, m;

P_r ——舱内压力, Pa;

P ——舱外压力, Pa;

R' ——舱中间圆柱体沿环向方向半径, m;

e ——舱材料厚度, m;

E ——舱材料的弹性模量, Pa;

σ ——泊松比。

B.2.2 C 型液货舱中间圆柱体沿环向方向半径增加量

中间圆柱体沿环向方向半径增加量按公式 (B.4) 计算。

$$\frac{\delta r_c}{R'} = \frac{(P_r - P) \times R'}{2eE} (2 - \sigma) \quad (\text{B.4})$$

式中:

δr_c ——中间圆柱体沿环向方向半径增加量, m;

R' ——中间圆柱体沿环向方向半径, m;

P_r ——舱内压力, Pa;

P ——舱外压力, Pa;

e ——舱材料厚度, m;

E ——舱材料的弹性模量, Pa;

σ ——泊松比。

B.2.3 C 型液货舱中间圆柱体体积压力修正系数

中间圆柱体体积压力修正系数按公式 (B.5) 计算:

$$C_{pvc} = \frac{(R' + \delta r_c)^2 \times (W_c + \delta W_c)}{(R')^2 \times (W_c)} \quad (\text{B.5})$$

式中:

C_{pvc} ——中间圆柱体体积压力修正系数。

R' ——中间圆柱体沿环向方向半径, m;

δr_c ——中间圆柱体半径的增加量，m。

W_c ——中间圆柱体的长度，m；

δW_c ——中间圆柱体长度的增加量，m。

B.3 C 型液货舱总体积压力修正系数

总体积压力修正系数按公式 (B.6) 计算：

$$C_{pv} = \frac{V_c \times C_{pvc} + V_e \times C_{pve}}{V_c + V_e} \quad (\text{B.6})$$

式中：

C_{pv} ——C 型液货舱总体积压力修正系数；

V_c ——中间圆柱体的体积， m^3 ；

C_{pvc} ——中间圆柱体体积压力修正系数。

V_e ——封头部分体积， m^3 。

C_{pve} ——封头部分体积压力修正系数。

附录 C

LNG 舱容量检定记录表参考格式

船名:		舱名:			
制造单位:		送检单位:			
检定地点:		环境温度:			
检定日期:		检定依据:			
检定单位:		证书编号:			
检定人员:		核验人员:			
舱位置:	# ~#	肋距:			
检定用主要设备	设备名称		设备编号		
外观及一般性能检查					
建造情况					
建造情况					
安装情况					
计量位置的情况					
液位测量系统测量记录					
液位测量系统位置测量		液位测量系统示意图			
X (mm):					
Y (mm):					
下部基准点坐标测量					
Z (mm):					
h_0 (mm):					
舱底量高度 (mm):					

LNG 舱容量检定记录表(坐标测量法)参考格式

船名		舱名	
检定员		核验员	

全站仪或三维激光扫描仪导出的文件名信息以及存放位置。

注：此文件信息：全站仪或扫描仪直接导出的点的三维坐标 X，Y，Z 数据，扫描仪可能包含点序号和灰度信息即 RGB 信息的 TXT 文件。

例：

序号	点号	X	Y	Z	R	G	B
0	5628	8.81580000	9.77660000	-66.75870000	185	185	185
0	5632	8.81580000	9.77670000	-66.75840000	183	183	183

LNG 舱容量检定记录表（尺寸测量法-棱柱型液货舱）参考格式

船名					
舱名：		肋位：		单位：mm	
剖面 1：肋位号： 距后：				剖面示意图	
宽度	测量值	长度	测量值		
W_b		h_b			
W_m		h_m			
W_m		h_u			
W_u		h_t			
剖面 2：肋位号： 距后：				剖面示意图	
宽度	测量值	长度	测量值		
W_b		h_b			
W_m		h_m			
W_m		h_u			
W_u		h_t			
剖面 3：肋位号： 距后：					
宽度	测量值	长度	测量值	剖面示意图	
W_b		h_b			
W_m		h_m			
W_m		h_u			
W_u		h_t			
剖面 4：肋位号： 距后：					
宽度	测量值	长度	测量值		
W_b		h_b			
W_m		h_m			
W_m		h_u			
W_u		h_t			
长度测量					
测量位置 1		测量位置 2		测量位置 3	
序号	测量值	序号	测量值	序号	测量值
1		1		1	
2		2		2	
3		3		3	

LNG 舱容量检定记录表（尺寸测量法-球罐型液货舱）参考格式

船名			
舱名:		单位: mm	
竖向直径测量			
竖向直径	测量值		
d_v			
赤道面直径测量			
直径	测量值 1	测量值 1	测量值 1
d_h			
平均值			
水平截面直径测量			
水平截面 1	所在高度:		
直径	测量值 1	测量值 2	测量值 3
d_h			
平均值			
水平截面 2	所在高度:		
直径	测量值 1	测量值 2	测量值 3
d_h			
平均值			
水平截面 3	所在高度:		
直径	测量值 1	测量值 2	测量值 3
d_h			
平均值			
水平截面 4	所在高度:		
直径	测量值 1	测量值 2	测量值 3
d_h			
平均值			
水平截面 5	所在高度:		
直径	测量值 1	测量值 2	测量值 3
d_h			
平均值			
水平截面 6	所在高度:		
直径	测量值 1	测量值 2	测量值 3
d_h			
平均值			

LNG 舱容量检定记录表（尺寸测量法-单圆筒液货舱）参考格式

船名			
舱名:		单位: mm	
截面横竖直径测量			
截面 I		所在位置:	
横直径	测量值	竖直径	测量值
d_h		d_v	
截面 II		所在位置:	
横直径	测量值	竖直径	测量值
d_h		d_v	
截面 III		所在位置:	
横直径	测量值	竖直径	测量值
d_h		d_v	
截面 IV		所在位置:	
横直径	测量值	竖直径	测量值
d_h		d_v	
截面 V		所在位置:	
横直径	测量值	竖直径	测量值
d_h		d_v	
截面 VI		所在位置:	
横直径	测量值	竖直径	测量值
d_h		d_v	
长度测量			
长度	测量值	长度	测量值
L_T 左		L_N 左	
L_T 右		L_N 右	
平均值		平均值	

LNG 舱容量检定记录表（尺寸测量法-双体式液货舱）参考格式

船名							
舱名:						单位: mm	
截面横竖直径测量							
截面 I		所在位置:					
直径	测量值	直径	测量值	直径	测量值	直径	测量值
d_h		d_1		d_2		d_3	
截面 II		所在位置:					
直径	测量值	直径	测量值	直径	测量值	直径	测量值
d_h		d_1		d_2		d_3	
截面 III		所在位置:					
直径	测量值	直径	测量值	直径	测量值	直径	测量值
d_h		d_1		d_2		d_3	
截面 IV		所在位置:					
直径	测量值	直径	测量值	直径	测量值	直径	测量值
d_h		d_1		d_2		d_3	
截面 V		所在位置:					
直径	测量值	直径	测量值	直径	测量值	直径	测量值
d_h		d_1		d_2		d_3	
截面 VI		所在位置:					
直径	测量值	直径	测量值	直径	测量值	直径	测量值
d_h		d_1		d_2		d_3	
长度测量							
长度	测量值			长度	测量值		
L_T 左				L_N 左			
L_T 右				L_N 右			
平均值				平均值			

LNG 舱容量检定记录表（尺寸测量法-三体式液货舱）参考格式

船名							
舱名:						单位: mm	
截面尺寸测量							
截面 I			所在位置:				
长度	测量值	长度	测量值	长度	测量值	直径	测量值
AB		AM		BM		R_1	
AB		AN		BN		R_1	
AC		AP		CP		R_2	
AC		AQ		CQ		R_2	
BC		BR		CR		R_3	
BC		BT		CT		R_3	
h				A 到舱底的距离 h_1			
截面 II			所在位置:				
长度	测量值	长度	测量值	长度	测量值	直径	测量值
AB		AM		BM		R_1	
AB		AN		BN		R_1	
AC		AP		CP		R_2	
AC		AQ		CQ		R_2	
BC		BR		CR		R_3	
BC		BT		CT		R_3	
h				A 到舱底的距离 h_1			
截面 III			所在位置:				
长度	测量值	长度	测量值	长度	测量值	直径	测量值
AB		AM		BM		R_1	
AB		AN		BN		R_1	
AC		AP		CP		R_2	

AC		AQ		CQ		R_2	
BC		BR		CR		R_3	
BC		BT		CT		R_3	
h				A 到舱底的距离 h_1			
截面 IV			所在位置:				
长度	测量值	长度	测量值	长度	测量值	直径	测量值
AB		AM		BM		R_1	
AB		AN		BN		R_1	
AC		AP		CP		R_2	
AC		AQ		CQ		R_2	
BC		BR		CR		R_3	
BC		BT		CT		R_3	
h				A 到舱底的距离 h_1			
截面 V			所在位置:				
长度	测量值	长度	测量值	长度	测量值	直径	测量值
AB		AM		BM		R_1	
AB		AN		BN		R_1	
AC		AP		CP		R_2	
AC		AQ		CQ		R_2	
BC		BR		CR		R_3	
BC		BT		CT		R_3	
h				A 到舱底的距离 h_1			
截面 VI			所在位置:				
长度	测量值	长度	测量值	长度	测量值	直径	测量值
AB		AM		BM		R_1	
AB		AN		BN		R_1	

AC		AP		CP		R_2	
AC		AQ		CQ		R_2	
BC		BR		CR		R_3	
BC		BT		CT		R_3	
h				A 到舱底 的距离 h_1			
长度测量							
长度	测量值		长度		测量值		
L_T 左			L_N 左				
L_T 右			L_N 右				
平均值			平均值				

LNG 舱容量检定记录表（壁厚与构件测量）参考格式

船名					舱名		
壁厚测量记录表							
棱柱型液货舱和 C 型液货舱							
剖面 1		剖面 2		剖面 4		剖面 5	
序号	测量值	序号	测量值	序号	测量值	序号	测量值
1		1		1		1	
2		2		2		2	
3		3		3		3	
4		4		4		4	
构件测量记录表							
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							
17							
18							
19							
20							

附录 D

检定证书内页参考格式

D.1 检定对象信息

检定对象信息应包含计量器具名称（船名）、规格型号、舱号、舱数和送检单位等信息。

注：舱号可按下述方式表示：

左 1 舱~左 3 舱，分别为 No.1 C.O.T(P) ~ No.3 C.O.T(P)；

中 1 舱~中 3 舱，分别为 No.1 C.O.T(C) ~ No.3 C.O.T(C)；

右 1 舱~右 3 舱，分别为 No.1 C.O.T(S) ~ No.3 C.O.T(S)。

D.2 本舱容表依据_____检定计算。

D.3 检定环境条件及地点

检定环境条件及地点应包含检定时的温度、湿度和检定地点等信息。

D.4 检定使用的计量标准装置名称：

D.5 检定项目及结论：

序号	项目	检定结论
1		
2		
3		

D.6 检定结果

本次检定结果：

总容量：_____ m^3 ；扩展不确定度： $U_{\text{rel}} = \text{_____}$ ($k = \text{_____}$)。

D.7 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 $t^\circ\text{C}$ 时舱体热膨胀修正如下：

$$V_t = V_{20} [1 - 3\alpha(20 - t)] \quad (\text{D.1})$$

式中：

V_t ——液体温度为 t 时，对液化天然气船舶体膨胀/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 ——液体或蒸汽的实际温度，℃。

- D.8 本舱容表以舱内压力为零状态下计算得出，对带压的液化天然气船舶型，必要时应进行舱容压力修正。
- D.9 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。
- D.10 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。
- D.11 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。
- D.12 液舱的安全装载高度由使用单位自行决定。
- D.13 液舱改建或严重变形后应申请重新检定。
- D.14 液化天然气船舶容量及舱内管线容量表。

表 D.1 液化天然气船舶容量及舱内管线容量表

单位：m³

管线位置	D（*）	管线容量		舱容量 100%
		No.1	合计	
第一货舱				
第二货舱				
第三货舱				
第四货舱				
总计				
备注：				
① D(*)——底量，当实高为零时的容量。当剩余液货位于底量区域时，其体积通过舱型用数学方法计算得到；当该舱扫舱干净，并经过第三方机构人员的目视检查或者其它被认可的测量方法确认，剩余液货体积为零。				
② 舱容表所示容量不包括管线的容量。				

D.15 液化天然气船舶舱位置布置示意图。

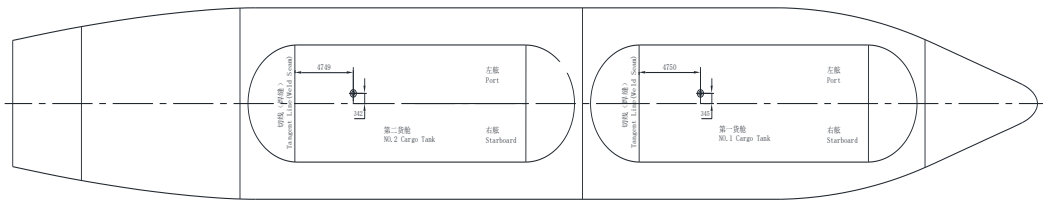


图 D.1 液化天然气船舶舱位置布置示意图

证书编号:

[illegible]

横倾修正表

艙名:

证书编号:

[illegible]

证书编号:

48

证书编号:

[illegible]

容量表

舱名：

证书编号：

实高 (m)	容量 (m³)	厘米容量 (m³/cm)	实高 (m)	容量 (m³)	厘米容量 (m³ /cm)