

JJG

中华人民共和国国家计量检定规程

JJG 266—1996

卧式金属罐容积

The Volume of Horizontal Metallic Tank

1996-03-05 发布

1996-10-01 实施

国家技术监督局 发布

卧式金属罐容积检定规程

Verification Regulation of the Volume
of Horizontal Metallic Tank

JJG 266—1996
代替 JJG 266—1981

本检定规程经国家技术监督局于 1996 年 03 月 05 日批准，并自 1996 年 10 月 01 日起施行。

归口单位： 中国计量科学研究院

起草单位： 中国计量科学研究院

本规程技术条文由起草单位负责解释

本规程主要起草人：

董 波 （中国计量科学研究院）

王本善 （中国计量科学研究院）

参加起草人：

许玉亮 （国家大容量计量运城检定站）

刘子勇 （中国计量科学研究院）

暴雪松 （中国计量科学研究院）

目 录

一 概述	(1)
二 技术要求	(1)
三 检定条件	(2)
(一) 检定要求	(2)
(二) 检定设备	(2)
四 检定项目与检定方法	(3)
(一) 检定项目及方法	(3)
(二) 容积计算	(10)
(三) 根据计算机程序输入各组数据并进行计算	(17)
(四) 卧式罐容量表的编制	(17)
五 检定结果处理和检定周期	(17)
附录 1 检定证书格式	(18)
附录 2 卧式金属罐检定记录	(19)
附录 3 卧式金属罐容积表格式	(20)

卧式金属罐容积检定规程

本规程适用于容积为 10 m^3 以上新建、改建、使用中及修理后的，用于液体容积计量的固定卧式圆筒形金属罐（以下简称卧式罐）的容积检定。

注：对于容积为 10 m^3 以下的卧式圆筒形金属罐可采用容量比较法或其它相应的方法进行容积检定。

一 概 述

卧式罐作为计量和储存液体的计量器具，广泛地应用于全国各行业中。卧式罐由筒体和顶板（封头）组成。筒体为卧式圆筒形，由若干圈板焊接而成。圈板间以对接形式焊接的称为对接式卧式罐；圈板间以搭接形式焊接的称为搭接式（交互式）卧式罐（见图 1 和图 2）。顶板按其形状可分为平顶、弧形顶、圆台顶、锥形顶、球缺顶、椭球顶等类顶（见图 3）。

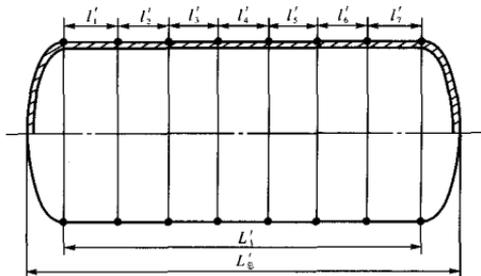


图 1 对接式卧式罐

二 技 术 要 求

- 1 卧式罐必须按照国家规范制造，其结构、外形、材料强度等均应符合规定要求。卧式罐铭牌内容应齐全、准确。
- 2 罐壁表面不应有明显的变形及凹凸现象。
- 3 罐体应尽量安装成水平状态。特殊要求的罐，可按设计安装，但其倾斜比不得大于 0.08。计量口的下尺点应在圆筒截面的中垂线上，并尽可能位于圆筒长度中间。

注：对于倾斜比大于 0.08 的卧式罐，可采用容量比较法或其它相应的方法进行容积检定。

- 4 卧式罐应安装于坚固的地基上，以使罐的底座不随时间产生较大的变形。
- 5 卧式罐检定结果的总不确定度不大于 0.4%（置信概率为 95%）。

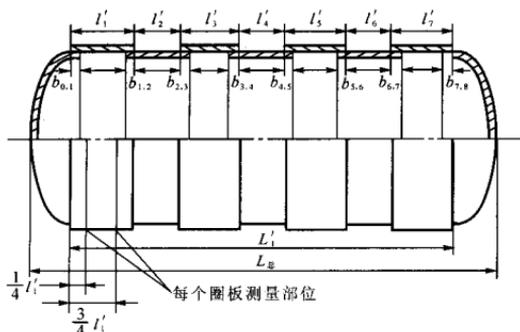


图2 搭接式（交互式）卧式罐

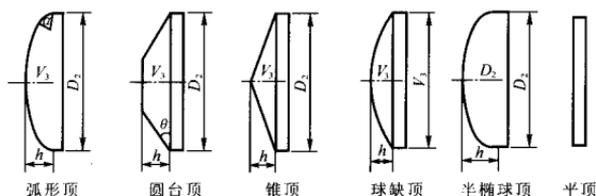


图3 各种类型的顶板

三 检 定 条 件

(一) 检定要求

6 新建、大修和重新安装的卧式罐，均须在装水为全部容积的80%以上，并保持72 h后方能进行检定。

7 检定使用中的卧式罐，应在无收发作业和不影响正常检定工作的情况下进行。

8 内测时，必须事先对罐内进行清洗。罐内不应有残留液体或沉积物。有毒和易燃气体浓度必须符合安全规范的要求。

9 检定人员现场测量时，所使用的衣服、鞋、帽，各种测量设备必须符合有关安全规范的要求，以避免静电与火花的产生，要确保安全。

(二) 检定设备

10 检定中使用的计量器具见表1，且这些设备（除钢质跨越规、递尺钩、线锤外）必须经过有关部门的检定，并具有有效检定证书。在使用时，对测量量值必须按检定证书予以修正。

表 1 主要检定设备

计量器具名称	规格型号	使用要求
测长(标准)钢卷尺 测深钢卷尺(量油尺)	(0~5) m; (0~20) m, 分度值为 1 mm	示值检定误差: $\leq \pm 0.5$ mm
套 管 尺	1.2 m~4.5 m, 分度值为 1 mm	示值检定误差: ± 0.5 mm
半径三角仪或半径规	跨度为 160, 200, 250, 400 mm, 分度值为 0.1 mm	
钢直尺	分度值为 1 mm	
游标卡尺	测量范围 (0~300) mm	± 0.02 mm
水准仪	三级	
超声波测厚仪	测量范围 (0~50) mm	± 0.1 mm
温度计	全浸式 (0~50)℃	± 0.1 ℃
拉力计	(0~98.066 5) N	最小分度值 1.96 N
钢质跨越规	固定或可调式	
递尺钩、线锤等		

四 检定项目与检定方法

(一) 检定项目及方法

11 圆筒内直径的测量

11.1 测量位置的确定: 分圈对接、搭接的筒体, 应在每圈板板宽的 1/4 和 3/4 处进行测量(见图 1, 2); 用整块钢板进行螺旋焊接的筒体, 分别取筒长的 1/8, 3/8, 5/8, 7/8 处为测量位置。

11.2 测量方法

11.2.1 外测法

11.2.1.1 清除测量轨迹上的污物、铁锈屑及影响测量的杂物。若轨迹上存在的障碍物不能用跨越规方便地跨越, 则应选择另一可替换的轨迹, 且该轨迹应尽可能靠近原轨迹。

11.2.1.2 测量时, 用递尺钩将测长钢卷尺按测量轨迹紧贴罐壁绕筒体一周, 等待 5 min, 以使罐壁与尺带间充分进行热交换, 然后利用夹板及拉力计给尺带施加与检定该尺带时一致的拉力, 读数。每个测量位置处应进行两次测量, 两次尺带零位应错开 (200~300) mm, 并且两次测量误差不应超过 1 mm, 取其平均值。若两次超过 1 mm, 则应重新进行测量。

11.2.1.3 直圆筒的平均内直径应是加权平均值。对接卧式罐平均内直径可用下式计算：

$$D_1 = \frac{\sum_{i=1}^n C'_i l'_i}{\pi \sum_{i=1}^n l'_i} - 2s_1 \quad (1)$$

式中： D_1 ——直圆筒平均内直径，mm；

C'_i ——第 i 圈板的外周长，mm；

l'_i ——第 i 圈板外板宽，mm；

s_1 ——直圆筒体平均板厚，mm；

n ——直圆筒圈板数。

对于搭接卧式罐，大、小直圆筒的平均内直径可分别用下式计算：

$$D_{\text{大}} = \frac{\sum_{i=1}^p C'_{(2i-1)} l'_{(2i-1)}}{\pi \sum_{i=1}^p l'_{(2i-1)}} - 2s_1 \quad (2)$$

$$D_{\text{小}} = \frac{\sum_{j=1}^q C'_{2j} l'_{2j}}{\pi \sum_{j=1}^q l'_{2j}} - 2s_1 \quad (3)$$

式中： $D_{\text{大}}$ ， $D_{\text{小}}$ ——分别为大、小直圆筒的平均内直径，mm；

$C'_{(2i-1)}$ ， C'_{2j} ——分别为第 $(2i-1)$ 大圈板与第 $2j$ 小圈板的外周长，mm；

$l'_{(2i-1)}$ ， l'_{2j} ——分别为第 $(2i-1)$ 大圈板与第 $2j$ 小圈板外板宽，mm；

p ， q ——分别为大、小圈板数。

11.2.2 内测法

11.2.2.1 测量前，先用卷尺逐一量出每圈板对应于外板宽的 $1/4$ 和 $3/4$ 处，并在罐壁上做标记。对于螺旋焊接应按直圆筒筒长计算测量位置，可在测直圆筒筒长时进行。

11.2.2.2 测量时，将套管尺一端顶在罐壁上使之不能移动，另一端在横截面上前后稍微摆动，当数值最小时左右稍微摆动，数值最大者为该测量位置处的内横直径；在纵剖面上左右稍微摆动，当数值最大时前后稍微摆动，数值最小者为该测量位置处的内竖直径。在每一测量位置处对内横、竖直径进行两次测量，且其测量结果相差不应超过 1 mm ，取两次测量的平均值。

11.2.2.3 对接卧式罐直圆筒体的平均内竖直径和平均内横直径，由下式计算：

$$D_a = \frac{\sum_{i=1}^n D_{ai} l_i}{\sum_{i=1}^n l_i} \quad (4)$$

$$D_b = \frac{\sum_{i=1}^n D_{bi} l_i}{\sum_{i=1}^n l_i} \quad (5)$$

式中： D_{ai} 、 D_{bi} ——分别为第 i 圈板的内竖直径和内横直径，mm；

D_a 、 D_b ——分别为直圆筒的平均内竖直径和平均内横直径，mm；

l_i ——第 i 圈板的圈板内宽，mm；

n ——直圆筒的圈板数。

搭接卧式罐的平均内竖直径和平均内横直径可由下式计算：

$$D_{a大} = \frac{\sum_{i=1}^p D_{a(2i-1)} l_{(2i-1)}}{\sum_{i=1}^p l_{(2i-1)}} \quad (6)$$

$$D_{a小} = \frac{\sum_{j=1}^q D_{a2j} l_{2j}}{\sum_{j=1}^q l_{2j}} \quad (7)$$

$$D_{b大} = \frac{\sum_{i=1}^p D_{b(2i-1)} l_{(2i-1)}}{\sum_{i=1}^p l_{(2i-1)}} \quad (8)$$

$$D_{b小} = \frac{\sum_{j=1}^q D_{b2j} l_{2j}}{\sum_{j=1}^q l_{2j}} \quad (9)$$

式中： $D_{a大}$ 、 $D_{b大}$ 、 $D_{a小}$ 、 $D_{b小}$ ——分别为大、小筒直圆筒的平均内竖直径和平均内横直径，mm；

$D_{a(2i-1)}$ 、 $D_{b(2i-1)}$ 、 D_{a2j} 、 D_{b2j} ——分别为第 $(2i-1)$ 大、第 $2j$ 小圈板的内竖直径和内横直径，mm；

$l_{(2i-1)}$ 、 l_{2j} ——分别为第 $(2i-1)$ 大、第 $2j$ 小圈板的内宽，mm。

12 直圆筒内总长和圈板内宽的测量

12.1 外测法

12.1.1 测量位置的确定：用线锤在直圆筒端点的两侧，分别找到两组与圆筒壁相切的切点，该点就可作为测量点。同一侧的两测点间连线应与直圆筒中轴线相平行。

12.1.2 测量时，利用测长钢卷尺在对其施加与检定时一致的拉力情况下，测出两端同一侧两测点间的距离，取两侧数据的平均值作为直圆筒的外长。

12.1.3 对于对接或搭接的卧式罐，在测量直圆筒筒长的过程中，应同时读取每个圈板

外宽，以保证这些圈板外宽之和与直圆筒外筒长测量数值相一致。

12.1.4 对于搭接卧式罐，应利用搭接板的焊痕测量其搭接宽度，焊痕不清楚时应多测几处，求取平均值。

12.1.5 对接式卧式罐，其直圆筒部分内总长为

$$L_1 = L'_1 - (l_Y + l_Z) = \sum l \quad (10)$$

式中： L_1 、 L'_1 ——分别为直圆筒内总长和外长，mm；

l_Y 、 l_Z ——分别为两端顶板与直圆筒的搭接宽度，mm；

$\sum l$ ——直圆筒各圈板内宽之和，mm。

12.1.6 搭接式卧式罐，其直圆筒内总长为

$$L_1 = L'_1 - (L_Y + l_Z) = \sum l_{\text{大}} + \sum l_{\text{小}} \quad (11)$$

$$\sum l_{\text{大}} = \sum_{i=1}^p [l'_{(2i-1)} - (b_{(2i-2),(2i-1)} + b_{(2i-1),(2i)})] \quad (12)$$

$$\sum l_{\text{小}} = \sum_{j=1}^q [l'_{2j} + (b_{(2j-1),2j} + b_{2j,(2j+1)})] \quad (13)$$

式中： $\sum l_{\text{大}}$ 、 $\sum l_{\text{小}}$ ——分别为直圆筒大、小圈板内宽之和，mm；

$b_{i,j}$ ——为第 i 、 j 圈板（相临，亦即 $j = i + 1$ ）间搭接板宽，mm； $b_{0,1}$ 与 $b_{(2j-1),2j}$ 为两端顶板与直圆筒的搭接宽度，mm。

12.2 内测法

12.2.1 测量位置的确定：在顶板内伸长部分钢板两端的边缘处刻一条垂直的细线，以此作为测量筒长的起点线和终点线。

12.2.2 若顶板与直圆筒之间为对接焊，则应在直圆筒两端的两侧钢板边缘处确定测量位置线。

12.2.3 测量时，将测长钢卷尺零点端用磁性表座固定在一端测线处，对其施加与检定该尺带时一致的拉力，使其紧贴罐壁，并沿罐壁摆动尺带，读取最小值，取筒体两侧读数的平均值作为直圆筒内总长。

12.2.4 在测量筒体内长的同时，应按内板边两端读取各圈板的内板宽。

13 顶板的测量

13.1 顶板内直径的测量

13.1.1 外测法

13.1.1.1 用测长钢卷尺在直圆筒两端边缘处测外周长，具体可按第 11 条中的有关规定进行。

13.1.1.2 顶板平均内直径可按下式计算：

$$D_2 = (1/2\pi)(C_Y' + C_Z') - 2(s_1 + s_2) \quad (14)$$

式中： D_2 ——顶板平均内直径，mm；

C_Y' , C_Z' ——分别为直圆筒两端边缘处的外周长, mm;

s_1 , s_2 ——分别为直圆筒和顶板的平均板厚, mm。顶板与直圆筒对接时, 取 $s_1 = 0$ 。

13.1.2 内测法

13.1.2.1 按第 11 条中的有关规定用套管尺, 在顶板圆筒边缘处测量出内横直径和内竖直径, 并取其平均值作为顶板平均内直径。

13.1.2.2 顶板平均内直径可由下式计算:

$$D_2 = (D_{aL} + D_{bL} + D_{aR} + D_{bR})/4 \quad (15)$$

式中: D_{aL} , D_{bL} ——分别为左端顶板圆筒边缘处内测竖直径和横直径, mm;

D_{aR} , D_{bR} ——分别为右端顶板圆筒边缘处内测竖直径和横直径, mm。

13.2 内、外伸长的测量

13.2.1 内伸长的测量

搭接时, 内伸长可过焊痕测量, 为 l_Y 或 l_Z 。对接时, 内伸长为零。

13.2.2 外伸长的测量

13.2.2.1 外测法

如图 4 所示, 长钢直尺紧贴圆筒筒身, 短钢直尺在顶板上左右移动至最窄处 P, 从长钢直尺上读取圆筒钢板边缘到最窄点的距离, 即为该处外伸长 t_y (或 t_z)。每端顶板测量部位不少于四个对称点, 并取两端平均值。

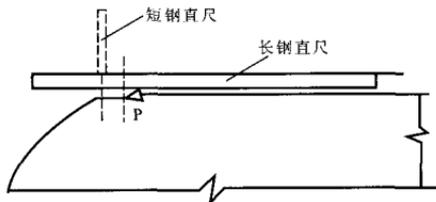


图 4 外部伸长测量

13.2.2.2 内测法

用钢直尺侧边紧贴顶板圆筒内壁, 让尺的零点端沿罐体纵向方向向该端慢慢推进, 当钢直尺接触顶板弧形部分而将被抬起时, 读出钢直尺上零点至顶板圆筒板边的距离, 即为该端顶板内、外伸长的总和 $t_y + l_y$ (或 $t_z + l_z$)。每端顶板测量部位不少于四个对称点, 并取平均值。

13.3 顶板外高的测量

13.3.1 如图 5 所示, 在筒体一端用两根木尺紧贴圆筒壁两侧测点, 以细线绕在两木尺伸出端, 用钢直尺测量由测点至细线的距离, 取两侧读数的平均值, 再用钢直尺测量细线至顶板顶点的最短距离, 此时标记顶板顶点。

13.3.2 用两侧读数的平均值减去细线到顶板顶点距离的读数即为一端顶板外高。

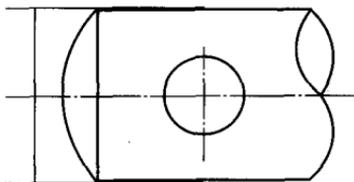


图5 顶板外高测量

13.4 弧形顶过渡曲线体小半径的测量

如图6所示,在每端曲线体的中部未变形处,用半径三角仪(或半径规)的3个尺足连线对准顶板的标记顶点,测量4个部位(顶板上、下、左、右),读取两端8个部位的平均值。此时过渡曲线体小半径可用下式计算:

$$r = \frac{(a^2/4) + b^2}{2b} - s_2 \quad (16)$$

式中: r ——曲线体小半径, mm;

a , b ——分别为曲线体外弦长和外弓高(读数减零位值), mm;

s_2 ——顶板的平均钢板厚度, mm。

14 内测时内总长的测量

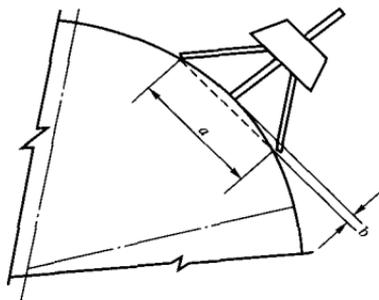


图6 曲线体测量示意图

14.1 顶板顶点位置的确定

14.1.1 有标记时,可将此标记作为顶点。

14.1.2 无标记时,可将顶板的焊缝线(或延长)的交点作为顶点。

14.1.3 无焊缝时,可在用套管尺测顶板竖直径时,在竖直径的中点处沿着罐体轴线将

测深钢卷尺拉直，直顶顶板的点就是顶点。

14.2 内总长的测量

用测长钢卷尺的一端，紧顶顶板顶点，将尺带沿着罐体轴线方向，以与检定该尺带时相同的拉力将其拉直，用一钢直尺零点端顶在罐体另一端顶板中心（顶点）处，将两尺刻度靠拢，并以尺上某一结合点为准，读取两尺数值，求和，即为卧式罐的内总长。测量两次，且两次测量读数相差不能超过 1 mm，如超过，须重测。取两次测量结果平均值作为内总长。

15 钢板厚度测量

15.1 用超声波测厚仪测量直圆筒和顶板的钢板厚度。

15.2 对于新罐，也可用铭牌或施工图纸上标明的数据。

16 罐内附件的测量

16.1 在罐内测量附件的几何尺寸；如不能进行实际测量，也可使用制造图纸上所标明的尺寸。

16.2 实测或从图纸上得到附件相对于计量基准点的起止高度。

17 下尺点内竖直径的测量

17.1 用测深钢卷尺测量下尺点包括计量口在内的总高度；再用钢直尺测量计量口下尺点至罐体上部的的外高。

17.2 下尺点内竖直径可按下式计算：

$$D_{\text{竖}} = H_{\text{总}} - h_{\text{外}} - s \quad (17)$$

式中： $D_{\text{竖}}$ ——下尺点内竖直径，mm；

$H_{\text{总}}$ ——下尺点总高度，mm；

$h_{\text{外}}$ ——计量口外高，mm；

s ——计量口处钢板厚度，mm。

18 倾斜测量

用水准仪在罐体的上部或下部测量两端圆筒边缘的高差。用钢卷尺测量下尺点到液面高端的伸长与曲线体切点 P 间的距离（如图 7 所示）。

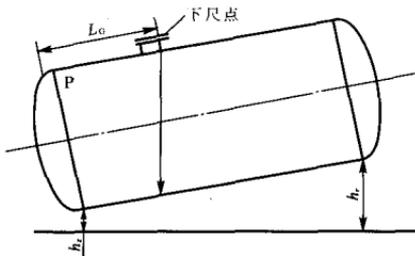


图 7 倾斜测量

(二) 容积计算

19 直圆筒容积计算

19.1 直圆筒总容积计算

19.1.1 正直圆筒总容积计算

19.1.1.1 对接式卧式罐正直圆筒部分总容积为

$$V_1 = (\pi/4)D_1^2L_1 \times 10^{-6} \quad (18)$$

式中： V_1 ——对接式正直圆筒部分的总容积，L；

D_1 ——正直圆筒平均内直径，mm；

L_1 ——正直圆筒内总长，mm。

19.1.1.2 搭接式卧式罐正直圆筒总容积为

$$V_1 = (\pi/4)(D_{大}^2L_{大} + D_{小}^2L_{小}) \times 10^{-6} \quad (19)$$

式中： V_1 ——搭接式正直圆筒部分的总容积，L；

$D_{大}$ ， $D_{小}$ ——分别为大、小圆筒的平均内直径，mm；

$L_{大}$ ， $L_{小}$ ——分别为大、小圆筒的内总长，mm。

19.1.2 椭直圆筒总容积可由下式计算：

19.1.2.1 对接式椭直圆筒的总容积为

$$V_1 = (\pi/4)D_aD_bL_1 \times 10^{-6} \quad (20)$$

式中： V_1 ——对接式椭直圆筒总容积，L；

D_a ， D_b ——分别为椭直圆筒的平均内竖直径和平均内横直径，mm；

L_1 ——椭直圆筒内总长，mm。

19.1.2.2 搭接式椭直圆筒的总容积为

$$V_1 = (\pi/4)(D_{a大}D_{b大}L_{大} + D_{a小}D_{b小}L_{小}) \times 10^{-6} \quad (21)$$

式中： V_1 ——搭接式椭直圆筒总容积，L；

$D_{a大}$ ， $D_{b大}$ ， $D_{a小}$ ， $D_{b小}$ ——分别为大、小椭直圆筒的平均内竖直径和平均内横直径，mm；

$L_{大}$ ， $L_{小}$ ——分别为大、小圆筒的内总长，mm。

19.2 直圆筒的部分容积计算

19.2.1 水平直圆筒在计算高度为 H 时的部分容积 V_{1H} 可按下式计算：

$$V_{1H} = (L_1D_b/4D_a) \left\{ 2(2H - D_a) \sqrt{D_aH - H^2} + D_a^2 \cos^{-1} [1 - (2H/D_a)] \right\} \times 10^{-6} \quad (22)$$

式中： V_{1H} ——直圆筒在计算高度为 H 时的部分容积，L；

H ——计算高度，mm。

19.2.2 若令式 (22) 中的 $D_a = D_b$, 则该式即为正直圆筒的部分容积公式。

19.3 附件体积的计算

19.3.1 罐内扶梯、加强圈, 以及弧形顶碟形体部分等, 可视其为自下而上均匀分布, 按实测数据计算其体积, 也可按施工图纸 (外测时) 提供的钢材质量计算其体积, 公式如下:

$$V_4 = m / \rho \quad (23)$$

式中: V_4 ——附件体积, L;

m ——附件质量, kg;

ρ ——材料密度, kg/dm³。

19.3.2 附件体积要在相应部分的部分容积内扣除。

19.3.3 对于罐底设有一个突出部分作为沉降分离设施的卧式罐, 其突出部分的容积可作为罐底计量基准点以下的“死量”编入容积表中。

20 伸长筒体容积计算

20.1 总容积计算

伸长筒体 (顶板筒体) 的总容积由下式计算:

$$V_2 = (\pi/4)D_2^2L_2 \times 10^{-6} \quad (24)$$

式中: V_2 ——两端伸长筒体总容积, L;

D_2 ——两端顶板平均内直径, mm;

L_2 ——两端内、外伸长的总长度, mm。

20.2 部分容积计算

可将伸长筒体视为正直圆筒筒体, 其部分容积公式为

$$V_{2H} = (L_2/4) \left\{ 2(2H - D_2) \sqrt{D_2H - H^2} + D_2^2 \cos^{-1} [1 - (2H/D_2)] \right\} \times 10^{-6} \quad (25)$$

式中: V_{2H} ——伸长筒体的部分容积, L;

H ——计算高度, mm;

D_2 ——两端顶板平均内直径, mm。

21 顶板部分的容积计算

21.1 球缺顶顶板部分的容积计算

21.1.1 总容积计算

总容积可用下式计算:

$$V_3 = (\pi h/3) [(3D_2^2/4) + h^2] \times 10^{-6} \quad (26)$$

式中: V_3 ——两端球缺体总容积, L;

h ——两端球缺平均内高, mm;

D_2 ——两端顶板平均内直径, mm。

21.1.2 部分容积计算

部分容积可用下式计算:

$$\begin{aligned}
 V_{3H} = 2R_3^3 \left\{ \left[\cos^{-1} \left(1 - \frac{2H}{D_2} \right) \right] \times \left[\left(\frac{D_2}{2R_3} \right)^2 \left(\frac{h}{R_3} - 1 \right) - \frac{2}{3} \left(1 - \frac{h}{R_3} \right)^3 + \frac{2}{3} \right] \right. \\
 + \left(1 - \frac{2H}{D_2} \right) \sqrt{\frac{4H}{D_2} - \left(\frac{2H}{D_2} \right)^2} \times \left[- \left(\frac{D_2}{2R_3} \right)^2 \left(\frac{h}{R_3} \right) + \frac{1}{12} \left(\frac{D_2}{2R_3} \right)^4 \right. \\
 + \left. \left. \frac{1}{120} \left(\frac{D_2}{2R_3} \right)^6 \right] + \sqrt{\frac{4H}{D_2} - \left(\frac{2H}{D_2} \right)^2} \times \left(1 - \frac{2H}{D_2} \right)^3 \times \left[\frac{1}{6} \left(\frac{D_2}{2R_3} \right)^4 \right. \right. \\
 \left. \left. + \frac{1}{90} \left(\frac{D_2}{2R_3} \right)^6 \right] + \frac{1}{45} \left(\frac{D_2}{2R_3} \right)^6 \times \sqrt{\frac{4H}{D_2} - \left(\frac{2H}{D_2} \right)^2} \times \left(1 - \frac{2H}{D_2} \right)^5 + \dots \right\} \times 10^{-6} \quad (27)
 \end{aligned}$$

式中: V_{3H} ——两端球缺体在计算高度为 H 时的部分容积, L。

21.2 半椭圆、半球顶顶板部分的容积计算

21.2.1 总容积计算

顶板部分为半椭圆时, 其总容积可用下式计算:

$$V_3 = (\pi h/3) D_2^2 \times 10^{-6} \quad (28)$$

式中: V_3 ——两端顶板部分的总容积, L;

h ——两端顶板平均内高, mm;

D_2 ——两端顶板平均内直径, mm。

21.2.2 部分容积计算

顶板为半椭圆时其两端顶板的部分容积可用下式计算:

$$V_{3H} = (\pi h/3) H^2 [3 - (2H/D_2)] \times 10^{-6} \quad (29)$$

式中: V_{3H} ——两端半椭圆体在计算高度为 H 时的部分容积, L;

H ——计算高度, mm。

21.3 水平圆台和水平圆锥顶顶板的容积计算

21.3.1 总容积计算

圆台的总容积为

$$V_3 = (\pi h/6) (D_2^2 + d^2 + D_2 d) \times 10^{-6} \quad (30)$$

式中: V_3 ——两端顶板的总容积, L;

D_2 ——两端顶板的平均内直径, mm;

h ——两端顶板的平均内高, mm;

d ——圆台顶端小底圆平均内直径, mm。

21.3.2 部分容积计算

21.3.2.1 液体高度 $0 \leq H \leq D_2/2$ 时, 水平圆锥的部分容积可用下式计算:

$$V_{3H} = \frac{hD_2^2}{6} \left[\sin^{-1} \sqrt{\frac{4H}{D_2} - \left(\frac{2H}{D_2}\right)^2} + 4\left(\frac{2H}{D_2} - 1\right) \sqrt{\frac{H}{D_2} - \left(\frac{H}{D_2}\right)^2} \right. \\ \left. + \left(1 - \frac{2H}{D_2}\right)^3 \ln \frac{1 + 2\sqrt{(H/D_2) - (H/D_2)^2}}{1 - (2H/D_2)} \right] \times 10^{-6} \quad (31)$$

液体高度 $D_2/2 < H \leq D_2$ 时, 水平圆锥的部分容积用下式计算:

$$V_{3H} = \frac{hD_2^2}{6} \left[\pi - \sin^{-1} \sqrt{\frac{4H}{D_2} - \left(\frac{2H}{D_2}\right)^2} + 4\left(\frac{2H}{D_2} - 1\right) \sqrt{\frac{H}{D_2} - \left(\frac{H}{D_2}\right)^2} \right. \\ \left. + \left(1 - \frac{2H}{D_2}\right)^3 \ln \frac{1 + 2\sqrt{(H/D_2) - (H/D_2)^2}}{(2H/D_2) - 1} \right] \times 10^{-6} \quad (32)$$

式中: V_{3H} ——两端圆锥顶在计算高度为 H 时的部分容积, L;

D_2 ——两端顶板平均内直径, mm;

H ——计算高度, mm;

h ——两端圆锥顶平均内高, mm。

21.3.2.2 当计算高度 $0 \leq H \leq (D_2 - d) / 2$ 时, 顶板为圆台的部分容积可利用圆锥部分容积公式 (31) 来计算。

当计算高度 $(D_2 - d) / 2 < H \leq D_2$ 时, 圆台的部分容积可视为以 D_2 为顶板直径圆锥的部分容积与以 d 为顶板直径圆锥的部分容积之差, 此时可利用圆锥的部分容积公式直接加以计算。

两圆锥高度与圆台高度间的关系如下:

$$h_D = h' / [1 - (d/D_2)] \quad (33)$$

$$h_d = h' / [(D_2/d) - 1] \quad (34)$$

式中: h_D ——以 D_2 为顶板直径的大圆锥平均内高, mm;

h_d ——以 d 为顶板直径的小圆锥平均内高, mm;

h' ——圆台的平均内高, mm;

D_2, d ——分别为圆台大底圆与小底圆的平均内直径, mm。

21.4 弧形顶顶板的容积计算

21.4.1 总容积计算

弧形顶总容积可用下式计算:

$$V_3 = 2\pi \left\{ h \left[\frac{1}{2} \left(\frac{D_2}{2} \right)^2 - \frac{rD_2}{2} + r^2 + \frac{h^2}{6} \right] + r \left[\frac{1}{2} \left(\frac{D_2}{2} \right)^2 - \frac{rD_2}{2} + r^2 - \frac{h^2}{2} \right] \right\}$$

$$\times \sin \alpha + hr \left(\frac{D_2}{2} - r \right) \cos \alpha + r^2 \alpha \left(\frac{D_2}{2} - r \right) \} \times 10^{-6} \quad (35)$$

公式中几何参数间的关系如下:

$$r = \frac{h^2 - 2R_3h + (D_2/2)^2}{D_2 - 2R_3} \quad (36)$$

$$\alpha = \sin^{-1} \left(\frac{R_3 - h}{R_3 - r} \right) \quad (37)$$

式中: V_3 ——两端弧形顶总容积, L;

h ——两端弧形顶平均内高, mm;

r ——过渡曲线体平均内小半径, mm;

D_2 ——两端顶板平均内直径, mm;

R_3 ——弧形顶球缺部分平均内半径, mm;

α ——过渡曲线体的圆心角, rad。

21.4.2 部分容积计算

弧形顶的部分容积为球缺、半弓形圈和矩形围绕中心轴的旋转体即 V'_{3H} , V''_{3H} , V'''_{3H} 三部分容积之和, 半弓形圈旋转体的部分容积, 可用下式计算:

$$V'''_{3H} = 4 \times 10^{-6} \int_0^{0 < H' \leq r(1 - \cos \alpha)} [(D_2/2) - H'] \cos^{-1} \left(\frac{(D_2/2) - H}{(D_2/2) - H'} \right) \times \sqrt{r^2 - (r - H')^2} dH' \quad (38)$$

式中: V'''_{3H} ——两端半弓形圈体在计算高度为 H 时的部分容积, L;

D_2 ——两端顶板平均内直径, mm;

r ——过渡曲线体的平均内半径, mm;

α ——过渡区曲线体圆心角, rad;

H ——计算高度, mm;

H' ——微分高度, mm。

球缺和矩形旋转体(即圆筒的部分容积)的部分容积可由公式(27)和(25)计算, 但球缺的部分容积计算公式(27)中的顶板平均内直径 D_2 应用下式计算:

$$D_2 = D_{2\text{弧}} - 2r(1 - \cos \alpha) \quad (39)$$

式中: $D_{2\text{弧}}$ ——弧形顶顶板的平均内直径, mm。

公式(27)中的平均内高 h 应由下式计算:

$$h = R_3 \left\{ 1 - \frac{\sqrt{(R_3 - r)^2 - [(D_{2\text{弧}}/2) - r]^2}}{R_3 - r} \right\} \quad (40)$$

式中: R_3 ——球缺的平均内半径, mm;

r ——过渡区曲线体的平均内半径, mm。

直圆筒的部分容积计算公式(25)中的平均内直径 D_2 可用式(39)计算, 其筒长用下式计算:

$$L_3 = \frac{2r\sqrt{(R_3 - r)^2 - [(D_{2\text{弧}}/2) - r]^2}}{R_3 - r} \quad (41)$$

式中: L_3 ——两端矩形旋转体长, mm。

球缺和矩形旋转体的部分容积计算公式中的计算高 H 可由下式计算:

$$H = H_{\text{弧}} - r(1 - \cos\alpha) \quad (42)$$

式中: H ——球缺和矩形旋转体的计算高度, mm;

$H_{\text{弧}}$ ——弧形顶顶板的部分容积的计算高度, mm。

22 倾斜卧式罐的容积计算

22.1 倾斜比的计算

卧式罐的倾斜比可用下式计算:

$$\text{tg}\beta = |(h_y - h_z) \pm [(D'_y - D'_z)/2]|/L_1 \quad (43)$$

式中: $\text{tg}\beta$ ——卧式罐中轴的倾斜比, 取绝对值;

h_y, h_z ——分别为水准仪在直圆筒右、左两端读出的标尺高, mm;

D'_y, D'_z ——分别为直圆筒右、左两端的外直径, mm;

L_1 ——直圆筒内总长。

式(43)中, 当标尺放在罐体上方测量时为“-”, 在罐体下方测量时为“+”。

22.2 直圆筒容积计算

22.2.1 直圆筒总容积计算

倾斜直圆筒总容积计算与水平直圆筒总容积计算一样。

22.2.2 部分容积计算

此时可将直圆筒作为正圆筒处理。

当高端液高 $0 \leq H_G \leq L \text{tg}\beta$ 时, 部分容积可用下式计算:

$$V_{1H} = D_1^3 \text{ctg}\beta \left\{ \left[\frac{1}{4} - \frac{H_G}{3D_1} + \frac{1}{3} \left(\frac{H_G}{D_1} \right)^2 \right] \sqrt{\frac{H_G}{D_1} - \left(\frac{H_G}{D_1} \right)^2} - \left(\frac{1}{8} - \frac{H_G}{4D_1} \right) \cos^{-1} \left(1 - \frac{2H_G}{D_1} \right) \right\} \times 10^{-6} \quad (44)$$

式中: V_{1H} ——直圆筒在高端液高为 H_G 时的部分容积, L;

D_1 ——直圆筒平均内直径, mm;

H_G ——高端液高, mm;

$\text{ctg}\beta$ ——倾斜比的倒数。

当高端液高 $L\text{tg}\beta < H_G \leq D_1$ 时, 其部分容积可用下式计算:

$$V_{1H} = D_1^3 \text{ctg}\beta \left\{ \left[\frac{1}{4} - \frac{H_G}{3D_1} + \frac{1}{3} \left(\frac{H_G}{D_1} \right)^2 \right] \sqrt{\frac{H_G}{D_1} - \left(\frac{H_G}{D_1} \right)^2} \right. \\ \left. - \left(\frac{1}{8} - \frac{H_G}{4D_1} \right) \cos^{-1} \left(1 - \frac{2H_G}{D_1} \right) - \left[\frac{1}{4} - \frac{H_D}{3D_1} + \frac{1}{3} \left(\frac{H_D}{D_1} \right)^2 \right] \right. \\ \left. \times \sqrt{\frac{H_D}{D_1} - \left(\frac{H_D}{D_1} \right)^2} + \left(\frac{1}{8} - \frac{H_D}{4D_1} \right) \cos^{-1} \left(1 - \frac{2H_D}{D_1} \right) \right\} \times 10^{-6} \quad (45)$$

式中: H_D ——低端液高, mm。可用下式计算:

$$H_D = H_G - L_1 \text{tg}\beta \quad (46)$$

式中: L_1 ——直圆筒的内总长, mm。

当高端液高 $H_G > D_1$ 时, 其部分容积可用下式计算:

$$V_{1H} = V_1 - D_1^3 \text{ctg}\beta \left\{ \left[\frac{1}{4} - \frac{H_k}{3D_1} + \frac{1}{3} \left(\frac{H_k}{D_1} \right)^2 \right] \sqrt{\frac{H_k}{D_1} - \left(\frac{H_k}{D_1} \right)^2} \right. \\ \left. - \left(\frac{1}{8} - \frac{H_k}{4D_1} \right) \cos^{-1} \left(1 - \frac{2H_k}{D_1} \right) \right\} \times 10^{-6} \quad (47)$$

式中: V_1 ——直圆筒总容积, L;

H_k ——低端液面空高, mm。可由下式计算:

$$H_k = D_1 - H_D \quad (48)$$

22.2.3 下尺点液高与高端液高间的关系可由下式来表达:

$$H_G = (L_G - H_{\text{总}} \sin\beta) \text{tg}\beta + (H_{\text{液}} / \cos\beta) \quad (49)$$

式中: H_G ——高端液高, mm;

$H_{\text{总}}$ ——下尺点处总高度, mm;

$H_{\text{液}}$ ——下尺点处的液高, mm;

L_G ——下尺点至液面高端的距离, mm;

β ——卧式罐的倾斜角, rad。

22.3 顶板容积计算

22.3.1 总容积计算

罐体倾斜对顶板的总容积没有影响, 可根据水平状态下各项板的总容积公式计算。

22.3.2 顶板的伸长筒体部分容积可合并到直圆筒体内一同计算。

22.3.3 倾斜时, 球缺顶、弧形顶、半椭球及半球顶的部分容积计算仍用水平时的部分

容积公式，但其液高需按如下公式进行修正：

$$\Delta H_1 = \frac{8h \sin \beta}{3\pi} \sqrt{\frac{H_G}{D_2} - \left(\frac{H_G}{D_2}\right)^2} \quad (50)$$

式中： ΔH_1 ——倾斜时的液高修正值，mm；液面高端取正值，液面低端取负值；

β ——罐体倾斜角，rad；

h ——顶板内高，mm；

D_2 ——顶板平均内直径，mm；

H_G ——高端液高，mm。

至于倾斜圆台顶、圆锥顶顶形的部分容积计算，可以视具体情况以水平状态下的公式计算其部分容积。

23 液高修正

计算水平直圆筒部分体积时，由于计量口下尺点内竖直径与直圆筒平均内竖直径的不一致，必须对下尺点处所测出的液高利用下式进行修正：

$$H = H_{液} + \Delta H_2 \quad (51)$$

式中： H ——修正后的计量高度，mm；

$H_{液}$ ——下尺点处测出的液高，mm；

ΔH_2 ——液高修正值，mm；由下式计算：

$$\Delta H_2 = (D_a - D_{竖})/2 \quad (52)$$

式中： D_a ——计算部分容积的平均内竖直径，mm；

$D_{竖}$ ——下尺点内竖直径，mm。

(三) 根据计算机程序输入各组数据并进行计算

24 输入各组必要的计算数据，运行容积计算程序，完成以每 10 mm 高度进行累计的容积计算。

(四) 卧式罐容量表的编制

25 计算机程序运行结束后，打印出的容量表给出了在卧式罐水平或倾斜状态下，从下部基准点到罐顶之间不同实测高度所对应的容积。毫米容积可通过容积表用数值内差法计算。

五 检定结果处理和检定周期

26 经检定符合本规程要求的卧式罐，由检定部门出具检定证书和容量表，作为计量罐使用；对于非计量用卧式罐，出具测试结果通知书和容量表。

27 计量用卧式罐的检定周期最长不超过 4 年。

附录 1

检定证书格式

总容量: m^3

总不确定度:

说明:

1. 附容量表共 页。
2. 本容量表所示为 $20\text{ }^\circ\text{C}$ 时的容量, 在 $t\text{ }^\circ\text{C}$ 使用时, 可按下式进行换算:

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

式中: V_t —— $t\text{ }^\circ\text{C}$ 时的容量, m^3 ;

V_{20} ——容量表所示的容量, m^3 ;

t_s ——罐壁平均温度, $^\circ\text{C}$;

β ——罐材料的体胀系数, $1/^\circ\text{C}$ 。

3. 罐壁温度 t_s 可由下式计算:

$$t_s = (3t_L + t_A)/4 \quad (1-2)$$

式中: t_s ——罐壁温度, $^\circ\text{C}$;

t_L ——液体温度, $^\circ\text{C}$;

t_A ——环境温度, $^\circ\text{C}$ 。

对于带有绝热层壳壁的油罐 (保温罐), 可采用 $t_s = t_L$ 。

4. 罐大修或严重变形后须申请复检。
5. 罐充装容量 (装液安全高度) 由使用单位自行决定。

附录 2

卧式金属罐检定记录

编号 _____ 单位名称 _____ 检定日期 _____ 年 _____ 月 _____ 日

制造厂名 _____ 型号 _____ 检定人员 _____

圆 周 长	圈 号	一	二	三	四	五	六	七	圈板两端		
	第一次										
	第二次										
	平 均										
圈 板 内 长	圈 号	一	二	三	四	五	六	七	内总长		
	第一次								顶外高		
	第二次								顶内高		
	平 均										
曲 线 体	外 弓 高	左端	右端	伸 长	外 部 伸 长	左端	右端	钢 板 厚 度	直 圆 筒 顶 板		
		平均					平均				
	平 均	左端	右端	圈 板 与 顶 板 搭 接 宽	左端	右端	下尺点总高				
							量液口和人孔外高				
							下尺点内竖直径				
		平均				平均					
平均周长		外直径	内直径	内 长	容 积	附件体积	净容积				
大圆筒											
小圆筒											
伸 长											
顶部容积						合 计					

倾斜在____部测量,左端高_____mm,右端高_____mm, $\alpha\beta$ _____下尺点到液面高端的伸长与曲线体切点间距离_____mm。

注:表内长度单位为mm;容积单位为L。

