

400 m³ 液化石油气球罐盘梯的制作

王宜建^{*}

(中国石油天然气管道第二工程公司)

王宜建. 400 m³ 液化石油气球罐盘梯的制作. 油气储运, 1995, 14(1): 19~22

摘要 结合施工实际,介绍了液化石油气球罐盘梯的结构,它是由柱盘梯与球盘梯两部分组成的,因此,在计算盘梯的弯曲半径时应分别进行。给出了利用实地放样求盘梯侧板展开下料实长的具体计算步骤,并论述了求盘梯侧板展开下料实长的理论推导过程,通过对比,发现两者数值非常接近。叙述了盘梯的制作方法,指出用该方法制作的盘梯,基本上满足工程的需要,并可实现现场预制整体吊装,减少空中作业,提高了生产效率。

关键词 球形罐 盘梯 弯曲半径 计算 制造

400 m³ 钢制液化石油气球罐,是中国石油天然气管道第二工程公司为贵阳市白云液化石油气公司储配站安装的两具储存石油气的储罐。球罐盘梯的制作采用了近似计算的方法,求出弯曲半径,进行现场预制,整体吊装,从而保证了施工质量,减少了空中作业。

该球罐的外部梯子由两部分组成,如图1所示,赤道线以下是直斜梯,赤道线以上是沿着球罐盘旋而上的盘梯。盘梯的下端与中间平台连接,上端与顶部平台连接,盘梯与罐壁保持等距离。平台上部是弧形盘梯,因此,在设计制造盘梯时,应根据图纸尺寸进行计算,现场下料放样准确与否,直接影响到安装工作。

弯曲半径计算

由施工图可知:内径 D_1 为 9 200 mm,盘梯的中心线到球罐最大直径的切线是 600 mm,盘梯的中心包角 α 为 143°,盘梯宽为

700 mm。盘梯设计外形尺寸如图1所示,盘梯内旁侧板下缘立体轨迹如图2所示。该盘梯由柱盘梯与球盘梯两部分组成,分别求其弯曲半径 R_1 、 R_2 和侧板下料实长 L 。

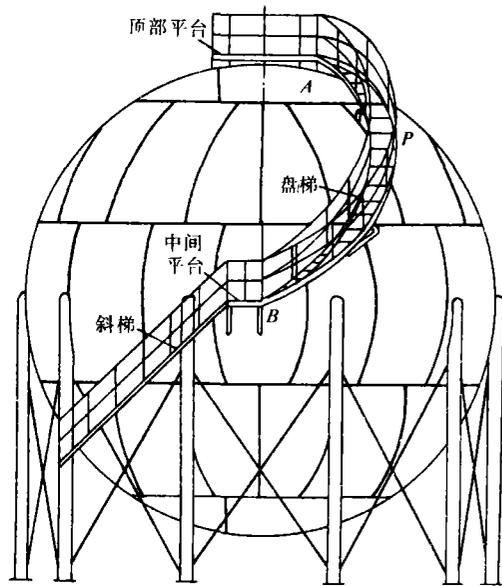


图1 球罐结构图

* 221000, 江苏省徐州市; 电话: (0516) 88951-202。

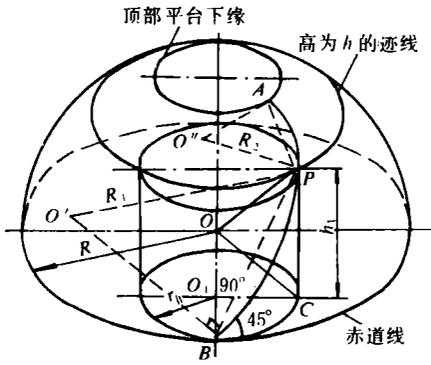


图 2 盘梯侧板立体轨迹图

1. 柱盘梯弯曲半径 R_1 的计算

盘梯的下段 BP 是绕圆柱体的螺旋线，盘梯内侧板与罐体的距离为 $600 - 350 = 250$ mm，所以， $R = 4\ 600$ (内半径) + 34 (球壳厚) + $250 = 4\ 884$ mm。

由于梯子斜度为 45° ，旋转角为 90° ，所以 P 点的高度 h_1 等于 BP 在水平面上的投影长 \widehat{BC} ，即： $h_1 = Y$

而它在平面图上的投影半径 r_1 可由 $2\pi r_1/4 = h_1$ 得出 $r_1 = 2 h_1/\pi$

由 $Rt\triangle OO_1C$ 得：

$$\overline{OC}^2 = \overline{OO_1}^2 + \overline{O_1C}^2 \quad (1)$$

由 $Rt\triangle OPC$ 得：

$$\overline{OP}^2 = \overline{PC}^2 + \overline{OC}^2 \quad (2)$$

$$\overline{OP} = R, \overline{PC} = h_1, S = \overline{OO_1} = R - r_1.$$

$$r_1 = \overline{O_1C}$$

代入式(2)得：

$$R^2 = h_1^2 + (S^2 + r_1^2)$$

$$= h_1^2 + (R - r_1)^2 + r_1^2$$

整理得：

$$h_1^2 - 2Rr_1 + 2r_1^2 = 0 \quad (3)$$

将 $r_1 = 2 h_1/\pi$ 代入式(3)得：

$$h_1 = 0.703\ 23 R = 3\ 434.57\ \text{mm}$$

$$r_1 = 0.447 R = 2\ 183.15\ \text{mm}$$

在 $Rt\triangle BO_1C$ 中：

$$(r_1 - e_1)/r_1 = \cos 45^\circ$$

$$e_1 = r_1(1 - \cos 45^\circ) = 0.293 r_1$$

在 $Rt\triangle PCB$ 中：

$$\overline{BP}^2 = \overline{PC}^2 + \overline{BC}^2 = h_1^2 + (\sqrt{2} r_1)^2$$

$$= 21\ 328\ 558.93\ \text{mm}^2$$

$$\overline{BP} = 4\ 618.28\ \text{mm}$$

又 $\because e_1$ 是 e_1' 的水平投影

$$\therefore e_1 = e_1'$$

参见图 3，在 $Rt\triangle PDO'$ 中有：

$$\overline{O'D} = R_1 - e_1, \overline{PD} = \overline{PB}/2$$

$$R_1^2 = (\overline{PB}/2)^2 + (R_1 - e_1)^2$$

$$R_1 = (\overline{PB}^2 + 4e_1^2)/8e_1$$

$$= 4\ 487.66\ \text{mm} \approx 4.5\ \text{m}$$

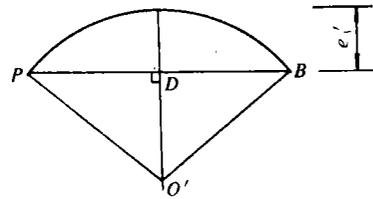


图 3 计算简图

2. 球盘梯弯曲半径 R_2 的计算

把这段球盘梯仍看作是柱盘梯来计算弯曲半径，实践证明完全能满足工程所需，简化了计算。不同的是圆心改变了， $r_2 - r_1$ 距离是绕 r_2 圆柱的螺旋线(见图 4)。

从施工图可知：

$$\widehat{AP}$$
 的圆心角 $\theta = 56.03^\circ$

$$r_2 = 2\ 383.65\ \text{mm}$$

$$h_2 = H - h_1 = 4\ 770 - 3\ 434.57$$

$$= 1\ 335\ \text{mm}$$

在 $Rt\triangle PEO_2$ (见图 5)中有：

$$\overline{PE} = 2 \cdot r_2 \sin(\theta/2)$$

$$= 2 \times 2\ 033.65 \times \sin 28.015^\circ$$

$$= 1\ 910.42\ \text{mm}$$

$$e_2 = r_2 \cdot [1 - \cos(\theta/2)]$$

$$= 2\ 033.65 \times (1 - \cos 28.015^\circ)$$

$$= 238.29\ \text{mm}$$

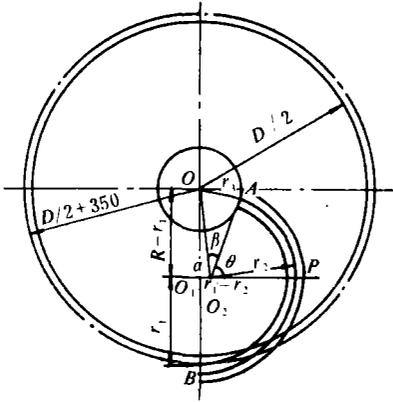


图 4 上部盘梯水平投影

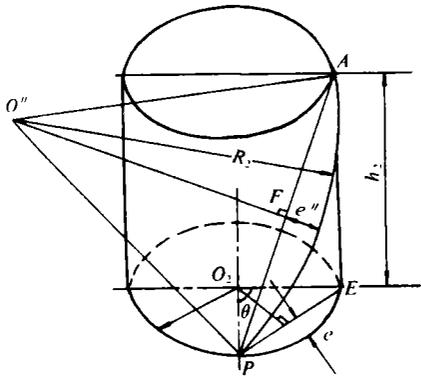


图 5 计算简图

又 $\because e_2 = e''$, $h_2 = 1\ 335\ \text{mm}$

\therefore 在 $Rt\triangle AEP$ 中:

$$\overline{AP} = \sqrt{\overline{PE}^2 + \overline{AE}^2} = 2\ 330.896\ \text{mm}$$

在 $Rt\triangle AFO'$ 中:

$$\overline{AO'}^2 = \overline{AF}^2 + \overline{FO'}^2$$

$$R^2 = (\overline{AP}/2)^2 + (R - e'')^2$$

$$R_2 = \frac{\overline{AP}^2 + 4e''^2}{8e''}$$

$$= \frac{2\ 330.896^2 + 4 \times 238.29^2}{8 \times 238.29}$$

$$= 2\ 969\ \text{mm}$$

侧板展开下料实长计算

设盘梯内侧板下料实长为 $L_{内}$ ，盘梯外侧板下料实长为 $L_{外}$ 。从施工图上可知:

$$\theta = 56.03^\circ, h_1 = 3\ 434\ \text{mm}.$$

$$r_{1内} = 2\ 183.148\ \text{mm}, \quad r_{1外} = 2\ 883\ \text{mm}.$$

$$r_{2内} = 1\ 683\ \text{mm}, \quad r_{2外} = 2\ 383\ \text{mm}.$$

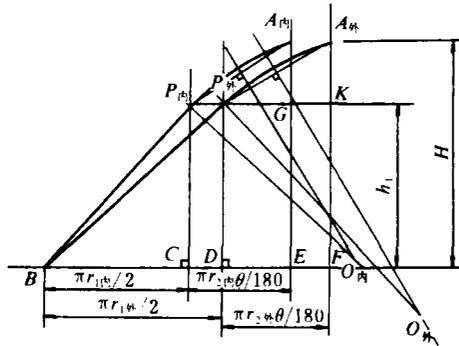


图 6 盘梯侧板展开放样实长(比例 1:150)

1. 实地放样求实长

侧板展开放样求实长(见图 6)的步骤是:

(1) 以平面图投影长 \overline{BC} 、 \overline{BD} 及切点 P 的高 h_1 为两直角边, 作出盘梯下段的实长, 由此定出 P 点的位置。

(2) 以平面投影长 \overline{CE} 、 \overline{DF} 及盘梯高 H 定出 A 点位置。

(3) 过 P 点、 A 点作出上段盘梯侧板弧线, 其侧板弧线与下段盘梯相切, 过 P 点作一直线垂直于下段盘梯, 作 PA 的垂直平分线, 两线交于 O 点, 以 O 为圆心, OP 为半径, 即得上段盘梯侧板弧线。

从实际放样图 6 测得:

$$L_{内} = 7.15\ \text{m}, \quad L_{外} = 8.15\ \text{m}$$

2. 理论计算求实长

从上面的论述和图 6 可知,

在 $Rt\triangle BCP_{内}$ 中:

$$\begin{aligned} \overline{BP}_{内} &= \sqrt{\left(\frac{\pi r_{1内}}{2}\right)^2 + h_1^2} \\ &= 4\ 851.68\ \text{mm} \end{aligned}$$

在 $Rt\triangle BDP_{外}$ 中:

$$\begin{aligned} \overline{BP}_{外} &= \sqrt{\left(\frac{\pi r_{1外}}{2}\right)^2 + h_1^2} \\ &= 5\ 681.53\ \text{mm} \end{aligned}$$

从图 6 可知： \widehat{PA} 可近似看作与 \overline{PA} 相等，
即 $\widehat{PA} \doteq \overline{PA}$ ，从而在 $Rt\triangle P_{内}GA_{内}$ 中有：

$$\begin{aligned} \overline{P_{内}A_{内}} &= \sqrt{\left(\frac{\pi r_{2内} l}{180}\right)^2 + (H - h_1)^2} \\ &= 2\ 119.16\ \text{mm} \end{aligned}$$

在 $Rt\triangle P_{外}KA_{外}$ 中有：

$$\begin{aligned} \overline{P_{外}A_{外}} &= \sqrt{\left(\frac{\pi r_{2外} l}{180}\right)^2 + (H - h_1)^2} \\ &= 2\ 685\ \text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_{内} &= \overline{BP_{内}} + \overline{P_{内}A_{内}} \\ &= 6\ 970.84\ \text{mm} \doteq 6.97\ \text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_{外} &= \overline{BP_{外}} + \overline{P_{外}A_{外}} \\ &= 8\ 366.53\ \text{mm} \doteq 8.37\ \text{m} \end{aligned}$$

制作方法

根据放样和理论计算，得到盘梯内外侧板的形状和长度及弯曲半径 R_1 、 R_2 ，首先将侧板制作好，把内外侧板弯成 R_1 、 R_2 的圆弧（见图 7），再作出踏步的水平等分线，通过踏

步板连接内外侧板，制作成盘梯。

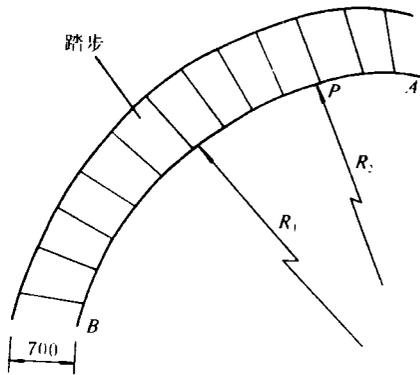


图 7 盘梯在平台上放线制作

实践证明，盘梯采用放样和近似计算的方法，数值非常接近，能满足工程的需要，便于现场预制，提高了生产效率，减少了高空作业，实现了整体吊装一次成功，解决了球罐现场组焊中现场制作盘梯的难题。

（收稿日期：1994-06-14）

编辑：柳广乐

（上接第 14 页）

的主观认识，经合理的统计、计算后，所得的分析结果较为客观、实际、实现了设备整修决策中定性分析与定量分析的有机结合。

(2) 不同油库设备的整修项目，如邀请不同的油料专家，所得的评价矩阵可能不尽相同，故应紧密联系油库实际，由专家咨询表得到符合油库具体情况的评价矩阵。同时，为增强评判的权威性，可采取适当挑选有丰富经验的油库专家参加专家咨询评判，提高评判的可信度。

(3) 专家综合评判法为油库设备整修规划提供了一种可行的决策方法。运用此方法，可克服油库设备整修时决策的盲目性，节省人力物力，建立在科学量化研究基础上，使整

修规划决策更有依据，防止了设备整修决策的随意性。实际上，专家综合评判法可编制成计算机软件程序，使用时只需输入原始数据，便可迅速得到决策结果。

参 考 文 献

- 1 赵晓刚. 储油罐更换规划的决策研究. 油田地面工程, 1991(5)
- 2 赵晓刚. 油库安全消防系统的灰色综合模型及应用. 石油工程建设, 1992(2)
- 3 赵晓刚. 层次分析法(AHP)在我军油库环境决策系统中的应用. 国防环境科学, 1991(1)
- 4 王彩华. 模糊论方法学. 北京: 中国建筑工业出版社, 1988

（收稿日期：1994-07-19）

编辑：柳广乐