

文章编号: 1005—8893 (2000) 04—0043—04

埋地式卧式液化石油气贮罐的设计^{*}

袁 强

(扬州化工学校, 江苏 扬州 225007)

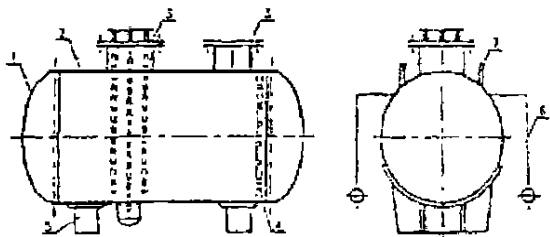
摘要: 介绍了埋地式卧式液化石油气贮罐的特点及设计, 认为有必要在我国推广应用。

关键词: 埋地式; 石油气贮罐; 特点; 应用

中图分类号: TE 822 文献标识码: A

1 结构设计

埋地罐与地面罐一般都是双标准椭圆封头、双鞍座支承的卧式圆筒形容器, 埋地罐与地面罐的接管位置有所不同, 除排污口外, 埋地罐的接管均要合理地布置在人孔盖上, 通过管道井引出, 为操作与检修方便, 另需开设一人孔, 内设爬梯, 如图 1 所示。对大容积贮罐, 由于接管、法兰和安全附件外形尺寸较大, 为了便于合理布置各接管, 应考虑多开几个人孔以布管, 人孔伸出高度 h 不宜过大, 以免罐体承受过多的砂土重力。



1. 椭圆封头; 2. 筒体; 3. 人孔; 4. 直爬梯
5. 鞍座; 6. 牺牲阳极; 7. 吊耳

图 1 埋地罐的结构

埋地罐的管口数与地面罐基本一致, 一般应开设安全阀门口、液相进口、液相出口、气相进口、气相出口、液位计口、放空口、排污口、压力表口

等, 为防止液位计失灵, 造成超装事故, 还应开设上液位计口或上液位报警器口。

由于埋地罐安装位置的特殊性, 当设计温度取 $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, 可不设置温度计口, 若设计温度是根据埋地罐所处的环境温度确定的, 就应设置温度计口, 以免发生意外事故。

各接管连接面形式主要有三种, 即: 法兰连接、螺纹连接和混合连接。一般安全附件接口采用美国锥管螺纹 NPT, 这样有利于选用性能优良的进口安全附件, 而且采用 NPT 螺纹密封性能好, 结构紧凑, 检修及安装都方便, 其余接口一般则采用法兰连接, 法兰一般采用带颈对焊法兰, 法兰面的连接形式为凹凸面连接, 密封垫片必须用机械强度高、密封性能可靠、耐液化石油气腐蚀的高压密封垫片。如选用带有金属材料的垫片时其金属材料应选用含钛的不锈钢, 这是因为防止液化石油气中的硫化氢会对其产生应力腐蚀。

由于地下罐安装和检修时都需要起吊, 特别是检修时需将其从地下吊到地面上, 故应在罐体两端对称布置 2 个或 4 个吊耳。

2 强度设计^[1]

设计压力是指在相应设计温度下用以确定容器的壳体壁厚的压力, 一般取设计压力等于或略高于

^{*} 收稿日期: 2000—08—29

作者简介: 袁强 (1963—), 男, 江苏姜埭人, 讲师。

最高操作压力, 埋地罐由于置于地面以下用砂土覆盖, 外部不加绝热层, 其操作压力取决于环境温度, 环境温度越低, 则操作压力越低, 反之亦然。对同一地区而言, 埋地罐的环境温度一般低于地面罐 (本文指安装在地面上的液化石油气贮罐), 根据《压力容器安全技术监察规程》第 34 条后半部分的规定, 在介质既定的条件下, 根据压力容器安装地区的最高气温条件 (不是极端值), 若能提供可靠的设计温度数据, 其最高工作压力可以按该设计温度确定……, 因此若能提供可靠的埋地罐环境温度值, 据此确定设计温度和压力, 此时其相应的设计压力应低于地面罐, 由 GB150—1998^[2] 有关章节可知, 其设计壁厚将减少, 从而可以节省原材料, 降低成本。否则, 按照《压力容器安全技术监察规程》第 34 条前半部分的规定, 保守地将埋地罐和地面罐等同对待, 取 50℃ 时混合液化石油气饱和蒸气压的大小, 将介质分为三类, 设计压力分别见表 1。

表 1 常见介质的设计压力

介质种类 (混合液化石油气)	最高工作压力/ MPa	设计压 力/MPa
50℃时的饱和蒸气压低于 异丁烷 50℃时的饱和蒸气压 (0.583 MPa)	0.583	0.8
50℃时的饱和蒸气压高于 异丁烷 50℃时的饱和蒸气压 (0.583 MPa)	50℃时丙烷 饱和蒸气压 1.621	1.1×1.621≈ 1.78
50℃时的饱和蒸气压高于 丙烷 50℃时的饱和蒸气压 (1.621 MPa)	50℃时丙烯 饱和蒸气压 1.97	1.1×1.97≈ 2.17

埋地罐的强度计算基本上同地面罐一样按 GB150—1998 进行, 需要说明的是埋地罐安装在地下也是通过左右鞍座用地脚螺栓固定在混凝土基础上的, 但埋地罐埋在地下, 罐体四周填满了细砂, 因此, 整个罐体受力除了承受贮罐内液化石油气产生的压力外, 还将承受罐体四周细砂给予的外压力及可能产生的地下水给予的外压力。由于地下水和砂子在埋地罐壁上产生的应力较小, 一般在工程计算中为了简化计算, 环向与轴向应力可按下式计算:

$$\sigma_{\theta} = PD / (4 \delta_h) \quad (1)$$

$$\sigma_m = PD / (2 \delta_h) \quad (2)$$

式中: P 为贮罐设计压力, MPa; D 为筒体的平均直径, mm; δ_h 为筒体壁厚, mm。

由上述的应力分析可知:

①当贮罐埋地深度适当的情况下, 贮罐上覆盖

的细砂及地下水对贮罐的压力, 不会对贮罐造成不利影响, 相反, 从理论上讲, 由于该压力的存在, 反而降低了罐体的轴向应力和周向应力。实际上细砂和地下水对贮罐的压力相对于贮罐的内压力来说是很小的, 因此, 埋地罐的筒体和封头的壁厚计算按 GB150—1998《钢制压力容器》进行计算是完全安全的。

②由于砂土对贮罐的下半部分在整个轴向方向都起了一个支承作用, 从一定程度上抑制了鞍座处上部“扁塌”现象的发生, 且降低了支座反力。

③由于贮罐埋入地下的深度可以适当得到控制, 砂土和地下水将不会造成不利影响, 而且我们还可通过简化受力状况进行外压失稳校核, 并可考虑在鞍座强度计算中计入罐体上半部分承受的砂土压力进行校核计算。

3 稳定性校核

由于埋地罐除受内压引起的压力外, 还受罐体四周细砂给予的压力以及地下水对罐体的静压力, 因此, 对内压强度计算求得的贮罐壁厚, 应进行稳定性校核。筒体有效壁厚的确定按 GB150—1998《钢制压力容器》有关章节进行。

埋地罐稳定性校核条件为: $[P] \geq P = P_1 + P_2$; 式中 $[P]$ 为贮罐的许用外压力, P_1 为细砂外压力, P_2 为地下水静压力。

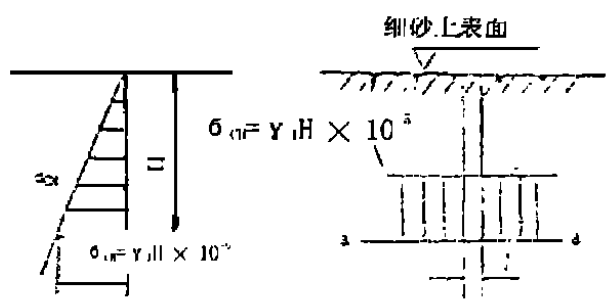
细砂是由砂、水气所组成的非连续介质。若把细砂体简化为连续体, 而采用这种假设来研究细砂中应力分布时, 应注意细砂中任意截面上都包括有骨架和孔隙的面积在内, 所以在细砂中自重应力计算时只考虑砂中单位面积上的平均应力。

在计算细砂中自重应力时, 假设天然地面是一个无限大的水平面, 因而在任意直面和水平面上均无剪应力存在。如果地下砂质均匀 (这一点砂质比土质优)。细砂容重 γ_1 , 则在细砂面下任意深度 H (m) 处 $a-a$ 水平面的竖直自重应力 σ_{CH} 可取作用于该水平面上任一单位面积的土柱体质量 H 计算。即:

$$\sigma_{CH} = \gamma_1 H \times 10^{-5} \quad (3)$$

σ_{CH} 沿水平均匀分布, 且与 H 成正比, 即深度按直线规律分布, 如图 2 所示。

细砂上表面任意浓度除有作用于水平面上的竖向自重应力外, 在竖直面上还作用有水平的侧向自重应力, 由于 σ_{CH} 是沿向一水平面上均匀地无限分



(a) 沿深度的分布 (b) 任意水平面上的分布
图2 均质细砂中竖向自重力的分布

布, 所以地基在自重作用下只能产生竖向变形而不能有侧向变形和剪切变形, 从这个条件出发, 根据弹性力学, 侧向自重应力 σ_{CX} 应与 σ_{CH} 成正比, 而剪应力均为零。即:

$$\sigma_{CX} = K_0 \sigma_{CH} \quad (4)$$

式中细砂的静止侧压力系数 K_0 可根据《地基与基础》查得, $K_0 = 0.33$ 。

设图3所示的圆筒半径为 R , 作用于圆筒外表面上竖向细砂自重应力为 σ_{CH} , 作用于圆筒外表面上的侧向细砂自重应力 σ_{CX} 为以圆心为坐标原点, 并在圆心以上的载荷面取任意点 M , 作用于该点且垂直于圆筒外表面的面应力, 即为所求得均布圆筒中点上任意深度 H 处 M 点的静压力 P 。即:

$$\begin{aligned} P_1^2 &= \sigma_{CH}^2 + \sigma_{CX}^2 \\ \text{将式 (1)、式 (2) 代入上式} \\ P_1^2 &= \sigma_{CH}^2 + (K_0 \sigma_{CX})^2 = \sigma_{CH}^2 (1 + K_0^2) = (\gamma_1 H \times 10^{-5})^2 (1 + K_0^2) \\ P_1 &= \gamma_1 H \sqrt{1 + K_0^2} 10^{-5} \end{aligned} \quad (5)$$

按式 (5) 计算, 圆筒最大静压力在 $X-X$ 水平面上, 但此点 σ_{CH} 与圆筒外表面相切, 不存在细砂对圆筒产生竖向静压力, 而仅有侧向静压力, 因此, 在没有其它依据的情况下, 根据华南工学院等合编的《地基与基础》^[3] 中计算挡土墙上的土压力, 圆筒最大静压力的作用点在距离圆心 $1/3R$ 处。即:

$$P_1 = \gamma_1 \left[\frac{2}{3}R + H_0 \right] \sqrt{1 + K_0^2} 10^{-5} \quad (6)$$

由《地基与基础》中取细砂的密度 $\gamma_1 = 2050 \text{ kg/m}^3$, 代入式 (11)

$$\begin{aligned} P_1 &= 0.0205 (2/3R + H_0) \sqrt{1 + K_0^2} \\ \text{把 } K_0 &= 0.33 \text{ 带入得} \\ P_1 &= 0.0216 (2/3R + H_0) \end{aligned} \quad (7)$$

式 (7) 即为细砂对圆筒的外压

地下水对贮罐的静压力 P_2 按下式计算:

$$P_2 = \gamma_2 H_2 \times 10^{-5} \quad (8)$$

式中: γ_2 为水的密度, kg/m^3 。

由此可以算出 $P = P_1 + P_2$, 如 $P \leq [P]$ 则筒体就不会失稳。

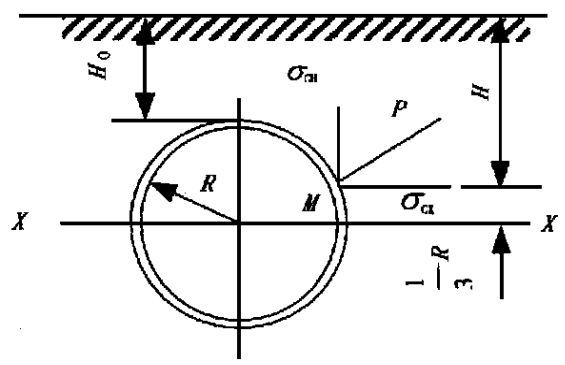


图3 均布圆筒载荷中点以上的 P

4 安全泄放量的计算

根据 GB150—1998 附录 B 第 B5.3 条, 液化气体容器的安全泄放量计算应按下列式计算:

$$W_s = \frac{2.55 \times 10^5 F A_r^{0.82}}{q} \quad (\text{kg/h}) \quad (9)$$

(9) 式中: W_s 为容器的安全泄放量, kg/h ; A_r 为容器受热面积, m^2 。

对于椭圆形封头的卧式容器, $A_r = 3.14D_0(L + 0.3D_0)$ 。(式中 D_0 为容器外径, L 为容器总长)。

对于容器置于地面以下用砂土覆盖时, 系数 $F = 0.3$; 容器置于地面以下时 $F = 1.0$; 当容器置于大于 $10 \text{ L/m}^2 \cdot \text{min}$ 喷淋装置下时 $F = 0.6$ 。

因为埋地罐须置于地下用砂土覆盖所以其 $F = 0.3$, 而地面罐则 $F = 1.0$, 由于其参数均相等, 所以埋地罐与地面罐在其它参数相等的情况下的安全泄放量之比为 0.3, 也就是说埋地罐与地面罐安全泄放量仅为地面罐的 30%, 从而在选择安全阀规格尺寸时, 埋地罐要比地面罐要小。(可根据 GB150—1998 附录 B 计算出安全阀的排放面积。)

由此可见, 埋地罐不仅比地面罐安全可靠, 而且还能降低成本。

5 防腐措施

为了防止地下水的侵蚀和微生物的破坏, 延长

设备使用寿命, 有必要对埋地罐采取可靠的防腐措施。防腐设计的好坏将直接影响埋地罐的使用安全和使用寿命, 针对地下罐所处的环境, 要求防腐层必须具有良好的电绝缘性, 良好的化学稳定性以及金属表面具有良好的粘结力等性能, 目前工程上埋地罐的防腐层一般选用外表面加涂沥青漆、环氧沥青漆等, 最好选择环氧沥青漆^[4]。

除此之外, 罐体还应采用阴极保护电化学防腐措施, 阴极保护分为外加电流和牺牲阳极两种方法。外加电流阴极保护是利用直流源给保护体通以足够的电流, 使其表面全部进行阴极化, 降低金属的腐蚀速度。牺牲阳极保护是在被保护体上, 连接一种电位更负(即更活泼)的金属或合金, 它与被保护体在电解质溶液中组成腐蚀电池, 降低金属的腐蚀程度, 以上两种方法的选用时, 应考虑以下几个主要因素: ①工程规模大小。②有无经济方便的电源。③所需保护电流密度大小不等。④与周围金属构筑物的相互影响。⑤土壤电阻率的高低。

在工程设计中, 应对上述因素综合考虑, 全面分析比较, 择优选用, 当被保护的壳体防腐层良好, 土壤电阻率较低, 周围地下金属构筑物较多时, 宜采用牺牲阳极保护, 埋地液化石油罐一般都采用牺牲阳极保护这种方法, 牺牲阳极有镁、铝、锌三种系列, 在土壤中使用应根据土壤电阻率的大小选用。当土壤电阻率小于 $30 \Omega/\text{m}$ 时, 宜选用锌基阳极; 当土壤电阻率小于 $100 \Omega/\text{m}$ 时, 宜选用镁基阳极; 选用铝基阳极时, 应注意其性能的稳定性, 宜在氯离子浓度较高的土壤中使用。阳极宜埋在潮湿的土壤中, 深度不宜小于 1 m , 并应在土壤的冰冻线以下。

6 开孔补强

由于埋地罐与地面罐相比, 其接管大多是从人

孔盖上出来的, 因此在筒体上的开孔就相对减少了许多, 使得筒体的受力更好, 因为人孔平盖的厚度较厚, 这就可以用一般的接管与之连接就可以了, 对于地面罐接管与筒体连接时基本都需要补强, 而且需采用整体补强(除人孔外), 接管都需采用锻件, 这使得设备的制造成本较高; 而接管与较厚的法兰盖连接, 一般就不需要用锻件了, 这是由于一般法兰盖的厚度富裕量较大, 它可以补偿一部分由于开孔所削弱的金属面积, 这就大大降低了设备的制造成本。

但值得注意的是, 由于要在法兰盖上开众多的管口, 使得法兰盖的强度下降, 这就一定要在对法兰盖的厚度进行校核时把开孔的因素考虑进去, 如果强度不够就应增加法兰盖的厚度, 重新进行校核, 直到满足强度的要求为止。(按 GB150—1998 有关章节或程序 M04 计算)

7 结束语

显而易见, 埋地罐不仅节省了大量的土地资源, 而且比地面罐更安全。由于我国的耕地面积越来越少, 特别是对土地紧张、人口稠密的城镇地区来说更是如此。在日本、韩国、香港等先进国家和地区早已被广泛应用, 因此使用埋地罐建立地下石油液化气站这一先进经验有必要在我国推广应用, 它有着广阔的市场前景。

参考文献:

- [1] 张青, 何德圆. 加气站内地下 LPG 贮罐设计 [J]. 化工设备设计, 1999 (3): 24—27.
- [2] GB150—1998. 钢制压力容器 [S].
- [3] 华南工学院. 地基与基础 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1981.
- [4] 魏宝明. 金属腐蚀理论及应用 [M]. 北京: 化学工业出版社, 1984.

The Designs of the LPG Tank Which Is Horizontal and Can Be Buried Underground

YUAN Qiang

(Yangzhou Chemical Engineering School, Yangzhou 225007, China)

Abstract: The article introduces the characteristics and the designs of the LPG tank (the liquefied petroleum gas tank) which is horizontal and can be buried underground. The author thinks it necessary to apply it in our country.

Key words: underground; LPG tank; characteristic; application