

浅析液化石油气储罐定期检验发现裂纹缺陷的处理

龙代椿（黔东南州特种设备检验所，贵州 黔东南 556011

摘 要：液化石油气储罐定期检验过程中，内表面磁粉检测发现裂纹，经打磨消除，形成凹坑。该凹坑处剩余壁厚经强度校核不满足强度要求，但进行无量纲参数计算，表明该凹坑在允许范围内，不用进行修补或应力分析，不影响定级。

关键词：液化石油气储罐；定期检验；裂纹缺陷；无量纲参数计算

液化石油气是我国生产生活中地位比较重要的能源，特别是在乡村地区，人们在日常生活中比较依赖液化石油气的供应。液化石油气是原油蒸馏或者其他石油工程中所获得的各类烃类化合物，主要包括丙烷、丙烯等，当然也残留一些原油中的硫化物，如硫化氢等。液化石油气具有易燃、易爆、受热易气化等特性，在常温下通常通过加压以液态储存和运输。液体的密度约为水的一半，气体密度比空气大，由液相变为气相，体积膨胀 250 倍，极易与空气混合形成爆炸性混合物，爆炸极限通常为 1.5%~10%。一旦发生泄漏，气体通常沿着地面漂浮并向低洼处迅速扩展，危害面积大，易发生爆炸燃烧，易造成重大经济损失和人员伤亡^[1]。液化石油气储罐作为液化石油气供应链中重要的工业特种设备和生产过程中的重大危险源，保证其安全地运行的重要性不言而喻。按期开展定期检验是监管部门了解其安全状态和保证其安全性的重要手段，避免因设备的不安全状态造成安全事故，给企业带来不必要的损失，保障生产人员的生命安全。

贵州省剑河县某液化石油气充装公司一台液化石油气储罐于 2023 年 03 月 18 日到期定期检验，经过使用单位半个月的检验前准备，2023 年 03 月 10 日我单位按照检验方案的要求开展检验工作。检验过程中磁粉检测发现该压力容器内表面筒体环焊缝上存在长

约 5mm 的环向裂纹，根据《固定式压力容器安全技术规程》（TSG 21-2016）第 8.5.4 条的规定，压力容器内、外表面不允许存在裂纹，应当打磨消除。以下介绍该台压力容器存在缺陷的分析处理情况。

1 液化石油气储罐技术参数（详见表 1）

2 按照检验方案开展检验情况

该储罐 2014 年 04 月 10 日投入使用，2017 年 03 月 19 日第一次开罐进行定期检验，未发现异常情况，筒体实测最小壁厚为 15.5mm，封头实测最小壁厚为 17.3mm，安全状况等级评定为 2 级。本次检验为第二次开罐检验，根据检验方案做了以下工作：

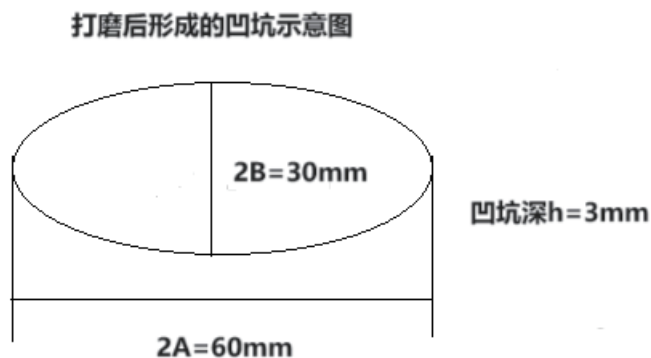
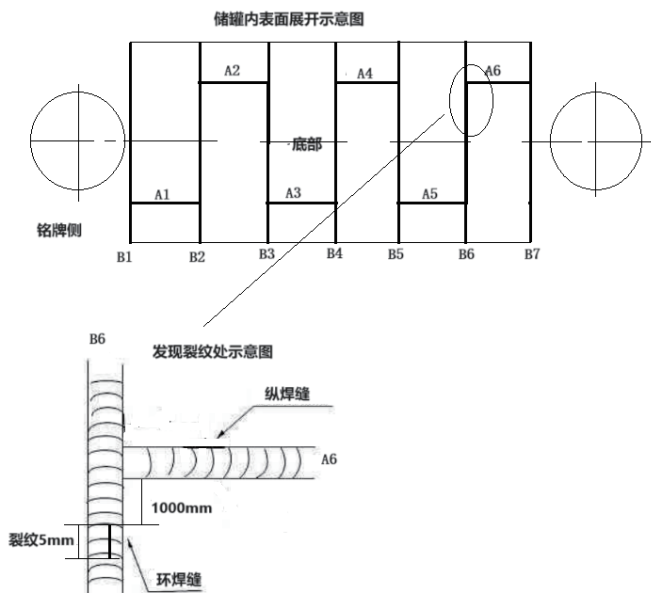
①罐体的宏观检查，内表面存在红棕色粉状腐蚀性产物，通过观察，应为均匀腐蚀；

②罐体的壁厚测定，筒体实测最小壁厚为 15.1mm，封头实测最小壁厚为 16.6mm；

③磁粉检测筒体环焊缝和纵焊缝，检测比例为 25%。经磁粉检测，发现在铭牌侧起第六道环焊缝上，距第六筒节纵焊缝往下约 1000mm 处存在长约 5mm 的环向裂纹（裂纹位置详见图 1）。该裂纹打磨消除后形成 60×30×3mm（长×宽×深）的凹坑（见图 2），凹坑附近的实测壁厚平均为 15.4mm。然后对各环焊缝分别增加了 15% 的检测比例，其他位置未发现裂纹缺陷。

表 1 技术参数表

容积 V/ m ³	100	内径 /mm	3000	长度 /mm	14908
设计压力 /MPa	1.77	设计温度 /℃	52	容器类别	Ⅲ类
工作压力 /MPa	1.61	工作温度 /℃	50	储存介质	液化石油气
筒体材质	Q345R	筒体厚度 δ/mm	16	腐蚀裕量 /mm	1
封头材质	Q345R	封头厚度 δ/mm	18	封头计算厚度 /mm	15.32
焊接接头系数	1.0	设计使用年限 / 年	15	出厂时间	2014 年 01 月 15 日



腐蚀裕量,但是大于封头计算厚度 15.32mm,不影响定级;

③打磨形成凹坑的评定。裂纹打磨后形成凹坑的深度(3mm)大于壁厚余量(壁厚余量=实测壁厚-名义厚度+腐蚀裕量=15.4-16+1=0.4),进行强度校核或者计算无量纲参数 G_0 。

3.4 强度校核

圆筒体强度校核的公式 [2]:

式中 $[P_w]$ 为圆筒的最大工作压力,单位:MPa

$[\sigma]_t$ 为设计温度下圆筒材料的许用应力,单位:

MPa

δ 为本次检验实测最小壁厚,单位:mm

c 为至下次检验日期的腐蚀量,单位:mm

ϕ 为焊接接头系数

D 为圆筒内径实测最大值,单位:mm

通过查询该压力容器出厂资料、上次定期检验报告和 GB/T 150-2011,取 $[\sigma]_t=189\text{MPa}$, $\delta=15.4-3=12.4\text{mm}$, $c=(16-15.1)/9 \times 4=0.4\text{mm}$ (下次定期检验周期为四年), $D=3005\text{mm}$, $\phi=1.0$

经过计算, $[P_w]=1.503\text{MPa}$

$[P_w]$ 小于本次检验确定的允许使用压力(1.61MPa) 不满足强度要求。

3.5 无量纲参数 G_0 计算

根据《固定式压力容器安全技术规程》(TSG21-2016)第 8.5.4 条的规定,进行无量纲参数计算的凹坑应满足 7 个条件,逐条进行分析 [3]:

①凹坑表面光滑、过渡平滑,凹坑半宽 B 不小于凹坑深度 C 的 3 倍,并且其周围无其他表面缺陷或者埋藏缺陷检测。消除裂纹,经细砂纸修磨,凹坑范围内过渡平滑,进行了外观检查、磁粉检测和超声波检测,未发现其它缺陷。凹坑半宽 B 为 15mm,大于凹坑深度 C 的 3 倍(9mm),确认满足该条件;

②凹坑不靠近几何不连续或者存在尖锐棱角区域。经外观检查,确认满足该条件;

③压力容器不承受外压或者疲劳荷载。经查阅相关运行管理资料,确认满足该条件;

④ T/R 小于 0.18 的薄壁圆筒壳或者 T/R 小于 0.10 的,薄壁球壳。取 $T=15.0\text{mm}$, $R=1500\text{mm}$, $T/R=15/1500=0.01$,小于 0.18,满足该条件;

⑤材料满足压力容器设计规定,未发现劣化。经硬度检测,未发现材质劣化,满足该条件;

⑥凹坑深度 C 小于壁厚 T 的 1/3 并且小于

12mm,坑底最小厚度($T-C$)不小于 3mm。凹坑深度为 3mm,满足该条件;

⑦凹坑半长 $A \leq 1.4\sqrt{RT}$ 。 $1.4\sqrt{RT}=210$,凹坑半长 $A=30\text{mm}$, $30 < 210$,满足该条件。

上述七个条件均满足,适用于凹坑缺陷无量纲参数计算。凹坑缺陷无量纲参数计算公式: $G_0 = \frac{C}{T} \times \frac{A}{\sqrt{RT}}$,

式中: T 为凹坑所在部位压力容器的壁厚(取实测壁厚减去至下次检验日期的腐蚀量),单位:mm; R 为压力容器平均半径,单位:mm。

根据上述分析验证的结果计算出 $G_0=0.04$, $G_0 < 0.10$,该凹坑在允许范围内,可以不进行补焊或者应力分析,不影响安全状况等级评级。

最终,该压力容器安全状况等级综合评定为 2 级。

4 结语

在压力容器定期检验过程中,发现一些制造遗留或者使用环境引起的裂纹性缺陷,打磨消除裂纹难免会造成壁厚减薄,这时单纯用凹坑处的剩余壁厚进行强度校核,理论上不满足设计标准的强度要求。因为通过凹坑周边的罐壁应力分析和应力集中有限元分析计算,凹坑处减薄后的厚度和应力集中引起的最大应力,在理论上都不符合常规设计的强度要求 [4]。但是通过无量纲参数的计算,凹坑在允许范围内,不影响压力容器安全状况登记的评定,为压力容器使用单位节约了成本和能够正常有序地安排生产,也避免了后续补焊过程控制不当而产生新缺陷。

该压力容器在进行压力为 2.01MPa 的耐压试验合格后,继续投入运行,在下次定期检验中须对凹坑处重点检查。使用单位在设备服役中需要严格控制液化石油气介质中的硫化氢浓度和含水量,尽量降低储罐的使用压力,加强在线监测,特别是夏天注意开启喷淋装置,严禁超压运行,缩短检验周期。

参考文献:

- [1] 张定文,王念.液化石油气储罐全面检验和缺陷处理[J].科技信息,2012(23):49+78.
- [2] GB/T 150-2011 压力容器[S].北京:国家标准化管理委员会,2011.
- [3] TSG 21-2016 固定式压力容器安全技术规程[S].北京:国家标准化管理委员会,2016.
- [4] 金世贵,朱学来.液化气罐内表面凹坑受力分析和无量纲参数 G_0 的计算[J].中国特种设备安全,2010(11):15-17.