

一种实时在线监测的双底结构储油罐研究

杨金林¹ 何 旺² 杜明忠¹ 周 林¹

1. 中国人民解放军 76167 部队, 广东 韶关 512000;
2. 解放军后勤工程学院管理科学与工程系, 重庆 401311

摘 要:通过单底板储油罐罐底的特殊性分析,发现储油罐底板两面腐蚀易穿孔引发渗(泄)漏事故,因罐底腐蚀隐蔽性强,且无有效的实时在线检漏设备和技术,罐底实时在线监测已成为行业研究的重点和难点。针对单底板储油罐固有缺点,在分析储油罐基础检漏层结构设计和复合罐底结构设计不足后,总结出将底板结构设计和渗(泄)漏监测技术有机结合起来破解难题的方法;提出一种配备有油气在线探测仪和真空系统或压力系统的双底结构储油罐设计,能够实现对储油罐底板的实时在线监漏,有效保障储油罐的安全运行。

关键词:双底结构;储油罐;底板渗(泄)漏;在线监测

DOI:10.3969/j.issn.1006-5539.2016.03.021

0 前言

2008 年底我国石油战略储备一期工程顺利完成,总储备能力高达 $1\,400 \times 10^4$ t,但战略储备天数少,与日本、美国等国的战略石油储备天数差距较大,为此我国加快石油储备建设进度,力求 2020 年实现 90 d 目标。战略储备主要是原油储备,以大型浮顶储油罐为主要储存设备,由于原油具有高含硫、高含水和杂质等特性,加上微生物侵蚀,长期在恶劣环境下运作的储罐不可避免地出现腐蚀、开裂、穿孔等劣化缺陷,而罐底极易引起储液渗(泄)漏,导致经济损失和生态环境破坏,甚至引发火灾爆炸事故,因此罐底是检测的重点和难点^[1-2]。如何有效防范储油罐的渗(泄)漏事故和快速检测罐底板的劣化程度是当务之急,解决办法之一就是采用双层罐底板结构,配备有效的在线监测技术,保证至少一层罐底板完好,确保不发生油料渗(泄)漏事故。对保护生态环境、减少油料和经济损失,保证油料安全储存,消除安全隐患,提高能源保障能力具有重要的现实意义。

1 单底板储油罐罐底的特殊性

统计资料表明,所有储油罐渗(泄)漏事故中,罐底的渗(泄)漏比例最高,且最难发现。单底板储油罐罐底渗(泄)漏事故常发生在储油罐充水试压阶段、正常使用阶段和储油罐超期服役阶段,正常使用阶段的罐底渗(泄)漏最值得重视。由于工作条件所处环境复杂恶劣,导致储油罐渗(泄)漏的因素很多,如腐蚀、裂纹、砂眼、应力集中等诸因素之一或兼而有之,其中腐蚀穿孔引起的罐底渗(泄)漏最多,由于罐底存在积水和杂质,当罐底渗漏时,含杂质的积水会汇集在沥青砂绝缘层与罐底之间,加速罐底外表面腐蚀,导致罐底穿孔。

1.1 罐底内表面

罐底内表面是储油罐腐蚀最严重部位,主要的腐蚀是电化学腐蚀。电化学腐蚀是金属表面与离子导电介质(电解质)发生电化学反应而引起的破坏,是储油罐内部最主要、最严重、危害最大的一种腐蚀,主要发生在罐底、罐壁。例如,部分涂料采用比铁活性高的金属作填料

收稿日期:2015-11-05

基金项目:中国人民解放军总后勤部重点科研项目“储油状况下油罐检测技术研究”(油 20080208)

作者简介:杨金林(1977-),男,湖北钟祥人,工程师,博士,现主要从事油料的储存与加注和油罐检测工作。

(如锌),起到牺牲阳极保护作用,以减缓腐蚀。但防腐层因施工、老化等原因,难免存在缺陷(如针孔),影响保护层的保护效果,而缺陷等处暴露出的金属与防腐层敷盖的部分,形成了小阳极和大阴极的局部腐蚀电池,加速暴露金属的腐蚀速度。由于油品储运过程中水分积存和水气冷凝形成底水层,加上水中的一些杂质和无机盐,造成罐底内表面电化学腐蚀。如果底水层中含有硫酸盐还原菌(SRB)和 Cl^- ,腐蚀性则更强。出于应力强度的需要,罐底存在向外的坡度,因此积水主要在罐壁和罐底结合处,故该处腐蚀最严重,是防腐重点区域。除了均匀腐蚀罐底内表面还有许多局部腐蚀,例如点腐蚀和坑腐蚀,其危害不容忽视,很多局部腐蚀造成了罐底穿孔。罐底表面的坑腐蚀见图1。

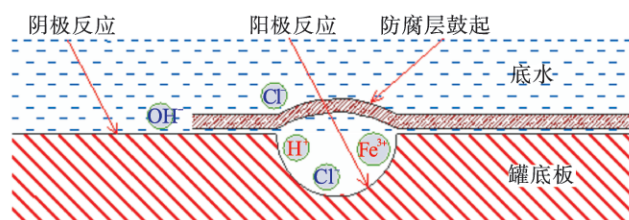


图1 坑腐蚀原理

1.2 罐底外表面

罐底外表面主要为氧浓差电池腐蚀和杂散电流腐蚀。罐底氧浓差主要表现在罐底与砂基础接触不良,如满载和空载比较,空载时接触不良;罐周和罐中心的透气性差别较大,引起氧浓差电池,这时罐底外表面的中心成为阳极而被腐蚀。雨水或冷凝水沿罐壁进入边缘板下,使边缘板下表面腐蚀加剧^[3],沥青砂绝缘层有裂纹使地基的水分上升至罐底,腐蚀罐底外表面。

储油罐腐蚀较严重部位是罐底,主要是罐底边缘板,重点是罐底和罐壁结合处。罐底边缘板比中幅板稍厚,一是因为应力的需要;二是增加储油罐使用寿命。典型的罐底腐蚀穿孔见图2。

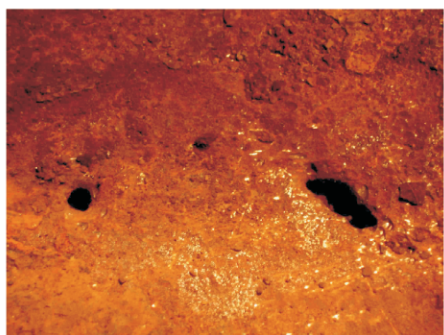


图2 罐底腐蚀穿孔

2 单底板储油罐的固有缺点

目前,我国已建和在建的原油储备罐都是大型的、单底板储油罐。据调查,40%的储油罐腐蚀发生在底板

上,76.4%的底板腐蚀穿孔导致储油罐停运^[4]。沿海某些油库储油罐,投运不到5年就有20%的罐底板因腐蚀而穿孔^[5],其原因主要是单层罐底板在防漏检漏和漏后保护方面存在固有缺点。固有缺点如下:

1) 罐底板受双面腐蚀,极大增加了腐蚀穿孔的概率。

2) 能实现罐底板渗(泄)漏储油状况下实时监测的方法或手段有限。单层罐底渗(泄)漏监测难点在于罐底外表面的情况看不见摸不着,只能利用间接方法或手段来推测和判断罐底外表面的情况,微小的渗(泄)漏很难发现,较大的渗漏和较小的泄漏也要等罐基础渗(泄)满油后渗油出来才能发现。可实现储油罐底板实时在线监测的方法只有罐基础预埋检测元件探漏法^[6],但该方法成本高、防爆要求高、维护费用高,实际应用还有待时日。

3) 罐底板渗(泄)漏后无防护措施。油库现有监漏方法(监测罐内油位变化和感官查库)存在不能发现微小泄漏、发现渗漏不及时以及对收发频繁的储油罐即使较小的泄漏也不能发现的主要缺陷,等发现储油罐渗(泄)漏时,罐基础内已侵满油料,不仅经济受损,而且可能污染环境,还给补漏、换底和置换砂垫层带来困难和风险,甚至引起火灾、爆炸事故。

3 双底板结构储油罐的发展现状

随着单底板储油罐的固有缺点越来越突出,全球石化行业逐渐把目光转向罐底板的实时在线监测和研发新型罐底板结构上^[7]。新型罐底板结构的研发就是向双层或多层底板方向拓展,双层底板结构的雏形是在储油罐基础下设计检漏层结构,见图3。

陈薇^[8]、谭小川等人^[9]设计了储油罐基础检漏层结构,即在平底罐和锥底罐罐基础砂垫层下设计基础检漏层。该检漏层结构设计土石方量少,操作施工简单,简易实用,能及时检出较小的泄漏和长期积累的渗漏。近年来检漏层结构设计已应用于新建的储油罐^[10-11]。

此后双层板结构应运而生,如储油罐复合罐底技术的双层罐底结构。2010年川南某油库B#汽油罐发生罐底板渗漏事故,腾空油料、清洗和除渣后油库人员在罐底板上均匀钻取了10个直达砂垫层的探测孔,80%的探测孔内油气浓度超标,遂对罐底板进行复合罐底改造^[12]。复合罐底主要由环形包边角钢、新罐底板、环形支撑角钢、沥青砂垫层和检漏管构成,见图4。复合罐底技术的优点是不需拆除旧罐底,不受场地限制、施工比较安全、可实现发现泄漏或长期渗漏等;缺点是会减少0.6%~0.8%容量。复合罐底技术已成为老油库改造的一种常用方法^[13]。

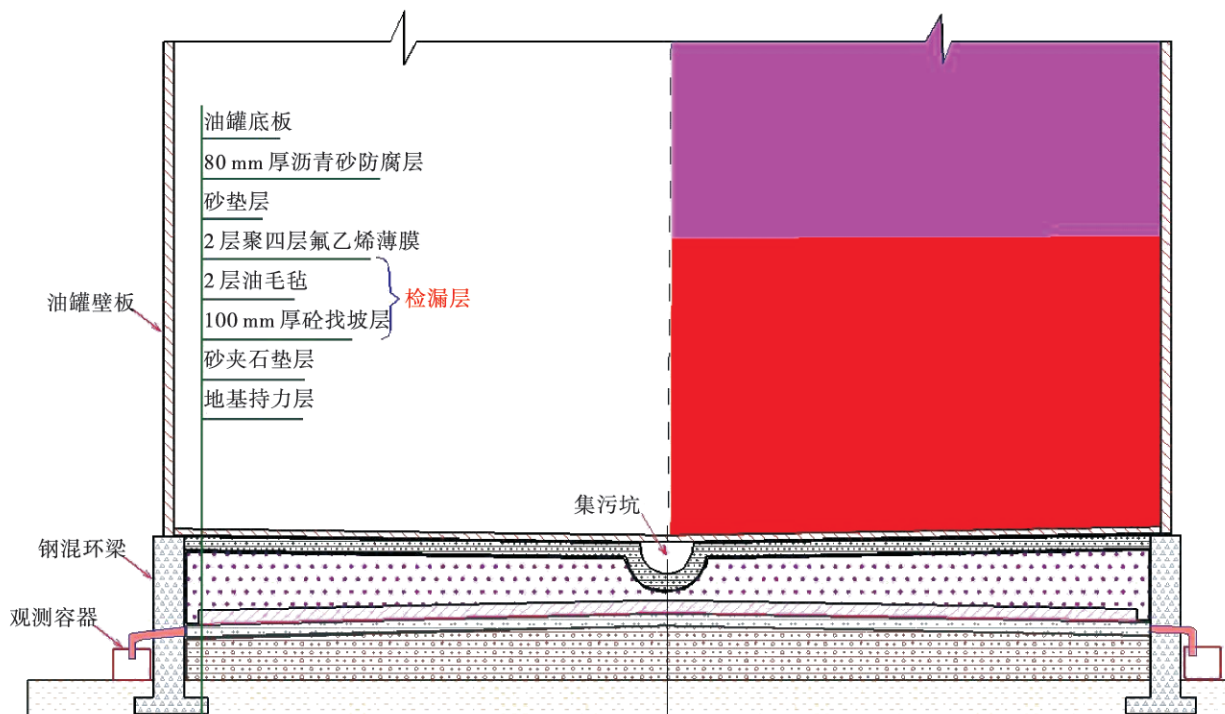


图3 储油罐基础检漏层结构

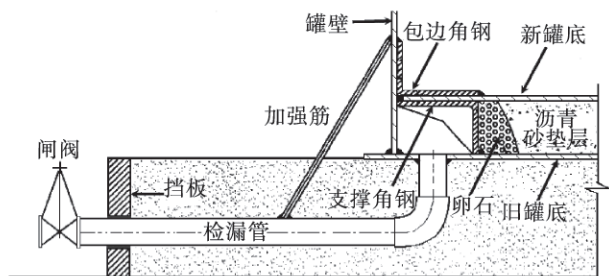


图4 复合罐底构造

无论是单底板储油罐基础检漏层结构设计还是复合罐底技术的双底板结构设计都不能实现储油罐底板的实时在线监测,只有把底板结构设计和渗(泄)漏监测技术有机结合起来,才能有效实现储油罐底板的实时在线监测。

一种可实现罐底实时在线监测的双层底板结构设计见图5。该结构在双底板的夹层空间设置正交放置的开槽开孔支撑方钢,在保证上层罐底板受力均匀的同时,也保证了一旦有油料渗(泄)漏,油气会在夹层内向水平方向360°无障碍扩散,配备油气在线检测仪后可实现罐底板实时在线监测,该结构设计较适合大型储油罐。双底板夹层所用的渗(泄)漏监测技术可采用真空或压力系统加油气在线检测仪设备。真空系统是用真空泵将夹层内气体抽成真空,用真空检漏器(Vacuum Leak Detector)来监测夹层的密闭性能,下罐底板漏气或上罐底板渗(泄)漏时,双层间隙内压力增大,真空检漏器发出警报;压力系统是将夹层充入氮气或空气,并用压力检漏器(Pressure Leak Detector)监测夹层的密闭性

能,下罐底板漏气或上罐底板渗(泄)漏发生时,双层间隙压力减小而触发报警器;油气在线检测仪主要用来在线监测上罐底板的渗(泄)漏,譬如红外线可燃气体探测器(THY-FDM-IRHC-K),其分辨率为 10^{-4} L/m^3 ,寿命长,响应速度快,探测到 10^{-4} L/m^3 以上浓度的油气后能及时发出声光警报^[14]。虽然真空系统和压力系统都有保持恒定压力难的缺点,但可以采取定期监测的方式来克服,只要定期检查未见异常,保证下罐底板的完好就行,上罐底板的实时在线监测由油气在线检测仪来完成。定期检查的间隔是每周或每半月。

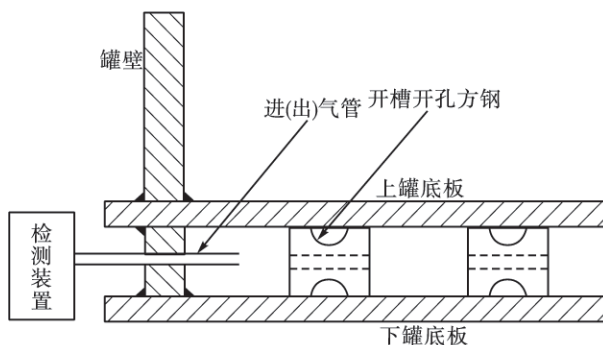


图5 双底板储油罐结构

4 结论

传统单底板储油罐底板由于受双面腐蚀,劣化程度难以掌握,又无有效的实时监测技术,因而罐底板腐蚀穿孔事故频发,给石油储存造成极大的安全隐患,已成为石化行业研究的难点和热点。针对单底板储油罐的

固有缺点,分析储油罐基础检漏层结构设计和复合罐底技术的双底板结构设计的不足,提出只有把底板结构设计和渗(泄)漏监测技术有机结合起来破解难题的方法。一种可实现罐底板实时在线监测的双底板结构设计被提出,由于双底板夹层空间由开槽开孔的方钢正交排布支撑,在保证上层罐底板受力均匀的同时,也保障了可能渗(泄)漏的油料蒸气能够在夹层内自由迅速扩散,给油气检测仪的及时报警创造了条件。由于在线真空系统或压力系统都有很难保持恒定压力的固有缺点,为克服该缺点,把真空系统或压力系统的在线监测改为定期检测,同时引入油气在线检测仪。油气在线检测仪可实时在线监测上层罐底板的渗(泄)漏,而定期检漏的真空系统或压力系统用以保证下层罐底板的完好。由于两层罐底板几乎同时穿孔为小概率事件,因此,双底板结构设计对上层罐底板的渗(泄)漏是“双保险”:其一,保证上层罐底板渗(泄)漏能及时报警,赢得腾空油料时间;其二,即使上层油料渗(泄)漏也不会跑出双层罐底的夹层空间,不会造成环境污染和重大经济损失。因此配备油气在线检测仪和真空系统或压力系统的双底结构设计的储油罐能够实现对储油罐底板的实时在线监测,保障储油罐的安全运营。

参考文献:

- [1] 王启宏,陈 虎,竺国荣. 常压储罐底板腐蚀及其安全检测技术[J]. 无损探伤,2010,34(6):45-46.
Wang Qihong, Chen Hu, Zhu Guorong. Atmospheric Tank Bottom Corrosion and Its Safety Testing Technology [J]. Non-destructive Inspection, 2010, 34 (6): 45 - 46.
- [2] 谭小川,刘丽川,柳 明. 立式钢制油罐底板的腐蚀机理及防护措施[J]. 石油化工腐蚀与防护,2004,21(2):24-26.
Tan Xiaochuan, Liu Lichuan, Liu Ming. Corrosion Mechanisms of Bottom Plate of Vertical Steel Oil Tank and Prevention [J]. Corrosion & Protection in Petrochemical Industry, 2004, 21 (2): 24 - 26.
- [3] 辛艳萍. 柳屯原油库油罐腐蚀机理研究[D]. 东营:中国石油大学(华东),2007.
Xin Yanping. The Research on the Liutun Crude Oil Tank Corrosion Mechanism [D]. Dongying: China University of Petroleum (East China), 2007.
- [4] 张 磊. 原油储罐的腐蚀与防护[J]. 腐蚀与防护,2001,22(2):72-73.
Zhang Lei. Corrosion and Protection of Oil Tanks [J]. Corrosion and Protection, 2001, 22 (2): 72 - 73.
- [5] 张仁坤,文建军,竺柏康. 沿海地区油罐的腐蚀与防腐[J]. 石油库与加油站,2005,14(6):29-31.
Zhang Renkun, Wen Jianjun, Zhu Baikang. The Corrosion and Corrosion Protection of Tank in Coastal Areas [J]. Oil Depot and Gas Station, 2005, 14 (6): 29 - 31.
- [6] 杨金林,刘丽川,陈 涛. 储油状况下油罐底板探漏方法比较[J]. 后勤工程学院学报,2012,28(4):25-30.
Yang Jinlin, Liu Lichuan, Chen Tao. Comparison of Bottom Leakage Detection Methods with Tank Storing Oil [J]. Journal of Logistical Engineering University, 2012, 28 (4): 25 - 30.
- [7] Rials R, Hagen T. Leak-detection Method Ensures Integrity of Double-bottom Storage Tanks [J]. Oil and Gas Journal, 1994, 46 (1): 74 - 80.
- [8] 陈 薇. 油罐基础泄漏检测系统的设计[J]. 石油化工安全技术,2004,20(6):42-44.
Chen Wei. Design of Leakage Detection System for Base of Oil Tank [J]. Petrochemical Safety Technology, 2004, 20 (6): 42 - 44.
- [9] 谭小川,刘丽川,饶 华. 一种油罐底板渗漏的实时监测技术[J]. 油气储运,2003,22(10):43-46.
Tan Xiaochuan, Liu Lichuan, Rao Hua. A Real-Time Monitoring Technique for Bottom Plates Corrosion and Leakage of Oil Tank [J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2003, 22 (10): 43 - 46.
- [10] 郝宝垠,朱焕勤,樊宝德. 油库实用堵漏技术[M]. 北京:中国石化出版社,2004:14-18.
Hao Baoyin, Zhu Huanqin, Fan Baode. Oil Depot Practical Plugging Technology [M]. Beijing: China Petrochemical Press, 2004: 14 - 18.
- [11] 贾庆山. 储罐基础工程手册[M]. 北京:中国石化出版社,2002:12-13.
Jia Qingshan. Tank Foundation Engineering Handbook [M]. Beijing: China Petrochemical Press, 2002: 12 - 13.
- [12] 杨金林,刘丽川,何 旺,等. 一种油罐底板实时监漏的新方法[J]. 油气储运,2013,32(7):771-774.
Yang Jinlin, Liu Lichuan, He Wang, et al. A New Method to Real-Time Monitor the Leakage of Bottom Plate in Oil Tank [J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2013, 32 (7): 771 - 774.
- [13] 程基明,许文忠,彭 波. 复合罐底法在油罐大修换底改造中的应用[J]. 石油库与加油站,2011,20(1):4-8.
Chen Jiming, Xu Wenzhong, Peng Bo. Application of Composite Tank Bottom in the Bottom Replacement During Overhaul Revamp [J]. Oil Depot and Gas Station, 2011, 20 (1): 4 - 8.
- [14] 颜镬钊. 基于在线监测的双层底板立式储罐研发[D]. 杭州:浙江大学,2012.
Yan Liuchuan. Research and Development of a Double Bottom Storage Tank Based on Monitoring on Line [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2012.