

大型化工储罐的优化设计与安全评估

郝爱科（宁夏晶体新能源材料有限公司，宁夏 石嘴山 753000）

摘要：在化工行业中，大型化工储罐作为重要的储存和处理设备，其安全性和可靠性直接影响到整个生产系统的稳定运行。随着化工生产规模的扩大和技术的不断进步，对储罐的设计和安全要求也越来越高。优化设计不仅能够提高储罐的使用寿命和安全性能，还能有效降低运行成本和安全环保风险。因此，深入研究大型化工储罐的优化设计与安全评估具有重要的理论和实践意义。本文对大型化工储罐的优化设计、安全评估以及维护管理对策进行分析，以便为相关人员提供借鉴。

关键词：大型化工储罐；优化设计；安全评估

0 引言

大型化工储罐作为化工生产过程中的重要设备，承担着储存和处理大量化学物质的任务，其安全性和可靠性直接关系到化工企业的生产运行和人员、生产装置、环保、安全。然而，随着化工产业的迅猛发展和生产规模的不断扩大，储罐事故频发，泄漏、爆炸等重大安全事故屡见不鲜，不仅造成了严重的经济损失，还带来了环境污染和人员伤亡。因此，如何优化大型化工储罐的设计，提高其安全性能，成为当前化工行业亟待解决的关键问题。

1 大型化工储罐的优化设计

1.1 容量与尺寸优化

大型化工储罐的优化设计是一个复杂且重要的过程，特别是容量和体积的优化显得尤为关键。贮气罐的容积设计需要从贮存要求、生产流程和安全规范等方面综合考虑。为了确保在紧急情况下的灵活性，储罐的容积通常设计为实际需求的1.2到1.5倍。球形储罐通常用于储存气体，因其在相同容积下具有较小的表面积，能够承受更高的压力。在设计球形储罐时，需特别注意压力容器的强度和稳定性，确保在高压条件下安全运行。另一方面，圆柱形储罐广泛用于储存液体和气体，特别是在场地有限的情况下，通过调整高度和直径的比例来优化空间利用率。圆柱形储罐的直径与高度之比通常设定为1:1至1:1.5，以有效减少物料消耗和占用空间。同时，设计过程中需充分考虑液体储罐的流体动态和气体储罐的压力管理。针对不同介质储罐的设计要求也有所不同。储液罐的容积设计应考虑液体的物理性质和贮存量，确保有足够的储存空间以应对生产波动。结构设计则需考虑防腐蚀材料的选择和液体动压对罐体的影响，同时保证罐体的密封性以防止泄漏。储气罐的容积设计根据气体的压

缩性和储存需求，设计容积一般为实际需求的1.2至1.5倍。结构设计需重点考虑罐体的强度和安全阀设置，确保在高压条件下运行的安全性。比如，在一些要求较高流动性的贮液器中，采用直径大、高度小的贮液器是较为适宜的。在综合考虑材料强度及稳定性的基础上，对大口径储罐的壁厚、内压等参数进行了优化设计。目前，国际上普遍采用的储罐壁厚计算公式为：

$$t=PD/(2SE-1.2P)$$

其中： t 是罐壁厚度， P 是罐体设计压力， D 是罐体直径， S 是罐体的容许应力， E 是焊缝系数。

另外，为避免罐体在自重及液压作用下发生变形，一般采用加厚结构。在实际应用中，除对容积和体积进行优选外，还要对储罐的选材、防腐蚀措施和安全附件的设置进行合理的设计。

1.2 结构设计优化

大型化工储罐的结构设计优化是确保储罐安全、稳定运行的关键步骤。首先，需要对储罐的整体结构进行科学设计，以保证其在各种工况下都能保持稳定性和安全性。储罐的基本结构包括罐体、罐顶、罐底以及加强构件，每个部分都需进行详细的力学分析和优化设计。罐体是储罐的主体部分，通常采用钢材制作。为了保证罐体的强度和耐久性，需要根据储罐内部压力和外部环境进行壁厚设计。

常用的壁厚设计公式为：

$$t=PD/(2SE-1.2P)$$

其中： t 为壁厚， P 为设计压力， D 为罐体直径， S 为材料的允许应力， E 为焊缝系数。

通过合理计算壁厚，可以在确保强度的前提下，减少材料浪费。罐顶的设计需考虑到内部压力和外部环境的影响，常见的罐顶形式有拱顶、平顶和锥顶、球形储罐等。球形储罐通常用于储存气体，因其在相

同容积下具有较小的表面积,能够承受更高的压力。球罐的力学性能优于其他形状的储罐,因为球形结构能够均匀分布内部压力,从而减少局部应力集中,增加整体强度和稳定性。因此,球罐在高压储存和安全性方面具有显著优势。在设计球形储罐时,需特别注意压力容器的强度和稳定性,确保在高压条件下安全运行。拱顶由于其结构强度高、抗风性能好,常用于大型储罐。罐顶厚度通常根据设计压力和结构形式进行计算,以确保在最大压力下不发生变形或破裂。罐底的设计同样重要,需承受储罐内物料的全部重量。为了防止底部因长期受压而变形,通常采用加厚底板设计。罐底厚度一般根据罐体直径和内部液体高度计算,确保在重力和液体压力作用下具有足够的强度。

1.3 进出料管道设计

设计时应从材料性质、管路布置、流体力学以及安全性等方面对管路进行优化。应根据材料特点,选用适当的管材。如对腐蚀性很大的化学品,可以选择不锈钢管或搪瓷衬氟,以改善防腐效果。对保温材料的选用,必须选用耐热材质,以保证其在高温下不发生变形和泄漏。管线的布置需要结合储罐所在的地理位置及工厂的总体规划来进行。进料管线一般是从贮槽的顶端或侧边送入,并设置挡板,以防止在进料时对贮槽底部造成冲击。在给料管线上安装有流量调节阀及单向阀,以控制送料速率,并避免物料回流。出料管路通常是从槽的底部或侧边引出,为使物料平稳排放,防止杂质混入下一工序,管路出口处设置排气阀及过滤器。

1.4 温度与压力控制

对大型化学品贮罐进行温压控制,是保证贮罐安全、高效运行的重要保证。温控主要是为了避免由于温度的波动而引起的原料变质和罐内压力的改变,罐内温度的均匀和稳定。通常的温控方式是建立供暖或制冷系统。如需要维持恒温的储液罐,可以在储液罐上加装蛇形管或夹套管,利用蒸汽或热水的循环,实现恒温。在储罐的不同高度、不同部位安装温度传感器,对罐内温度的变化进行实时监控,保证罐内温度分布均匀。该传感器的典型布置包括罐体顶部,罐体底部和中间部分,用于获取完整的温度信息。在压力控制上,为了避免超压、负压的出现,需要保证储罐的压力在设计值之内。储罐的设计压力一般是依据贮存物料的性质及工作条件而定,并留有一定的安全余量。比如,如果储罐的设计压力是 1.5MPa,那么在实际运行中,

它的压力应该小于 1.2MPa。为了达到对压力的控制,通常采用安全阀、爆破片、呼吸阀、压力表和自动控制装置。安全阀的设置压力应该比平时的工作压力的 1.05~1.1 倍,比如安全阀设定压力 1.3MPa,如果储罐内的压力超出了这个范围,安全阀就会自动打开,释放多余的压力,从而保证储罐的安全。

2 大型化工储罐的安全评估

2.1 储罐风险识别

对储罐的风险进行辨识,主要是对储罐本体、罐体材料特性、罐体焊缝、罐体支撑结构、安全附件、原料特性等,作业环境和人为因素进行分析,以保证对可能发生的各种风险进行综合分析。在设计阶段,要针对不同的贮存对象,选用合适的材质,例如:强腐蚀的材料可以选用 316L 不锈钢,还可以用搪瓷、衬氟内衬防腐涂料。储罐壁的厚度、焊缝质量以及防腐涂层的厚度都要满足国家及工业标准的要求,比如储罐壁的厚度一般为 10~20mm,焊缝要进行无损探伤,以保证没有裂缝和气孔。材料本身的危险性主要有化学反应性、易燃性、易爆性、腐蚀性、有毒性。对可燃原料,要有防火分隔带,配置泡沫灭火装置及可燃、有毒气体检测器。一般的防火分隔带是 15m 宽,而消防系统的设计流量是 3000L/min。对有害物质,应配置具有较好密封性的废气排放处理装置,并在周边设有警告标志及保护装置。储罐要安装在地势较高且排水较好的地方,以避开水灾及地震。在储罐的四周要有一个 1.5~2m 的围堰,其容积要能够满足储罐的最大漏失量。

2.2 风险分析与评价

对储罐进行危险评价时,要综合考虑储罐的结构、罐体材料特性、罐体焊缝、罐体支撑结构、安全附件、原料特性。运行环境和人为因素。第一,采用有限元法对储液罐在不同工况下的受力情况进行数值仿真,以保证储液罐在最高工作压力、极限工作温度下的力学性能。以某储罐为例,在设计压力为 1.5MPa 时,需要进行 1.8MPa 压力下的安全储备的计算。另外,在评价材料的耐久性时,也要考虑腐蚀率与疲劳寿命。第二,开展罐体的化学及可燃特性研究,采用危害及可操作性分析方法,辨识引起罐体故障的运行工况,并对其后果进行评价。比如,贮存苯的贮罐,在 50℃ 以上,蒸汽压力会突然升高,从而造成贮罐超压。通过量化风险评价(QRA),对城市建筑发生火灾、爆炸的可能性及影响范围进行分析,并提出相应的安全

保护距离与抗爆设计参数。第三,根据历史资料及勘察报告,对储罐地的地震烈度、风速及洪灾的危险性进行评价。如当储罐处于8度地震区时,为了保证结构的稳定,需要在结构中增设抗震支撑体系。

2.3 防护措施与应急预案

在对大型化学品贮罐进行安全评价时,必须制订相应的预防措施和紧急情况应急处置方案,以保证贮罐的安全。保护措施包括结构保护、设备保护和人员保护。结构保护措施主要是针对罐体和辅助设备进行优化设计。比如,储罐的主体应该用高强度的材料,比如316L的不锈钢,然后在里面加上防腐的涂料,这种涂料的壁厚一般是10~20mm,可以防止内部和外部的腐蚀。另外,在高烈度地震区,还需增设抗震支撑及地基加强措施,以增强其抗震性能。在设计围堰时,要根据罐体的最大漏失量,一般采用1.5~2m的围堰,以保证在发生渗漏的情况下,能对罐体进行有效地收集、隔离。为了对油罐的工作状况进行实时监测,应设置安全阀、压力表、温度传感器和可燃气体、有毒气体报警装置。

3 储罐的维护与管理

3.1 储罐的日常维护

储罐的日常维护是确保其正常运行和延长使用寿命的重要环节。日常维护包括定期检查、清洁和简单修理等工作。第一,每天应对储罐的外观进行检查,重点观察储罐表面是否有腐蚀、裂缝和变形现象,尤其是接缝处和焊缝处。此外,应检查储罐的基础和支撑结构,确保其稳固无松动。第二,储罐的防腐工作是日常维护的重点。储罐外部和内部应定期涂覆防腐涂层,外部每年检查一次,内部则根据储存介质的腐蚀性和使用情况,通常每3—5年进行一次全面的防腐处理。例如,对于储存酸性物质的储罐,内部防腐层应采用耐酸材料,每次检修时应重点检查防腐层的完整性。第三,储罐的管道和阀门也需定期维护。每日检查管道和阀门的密封性,确保无泄漏现象。每季度对管道和阀门进行一次全面检查,重点检查连接处和活动部件的磨损情况,必要时进行更换或修理。第四,储罐测厚是一项非常重要的工作,必须按照国家标准和操作规程进行,确保储罐的安全运行,储罐的检测周期应在3年左右,并且在重大事故或异常情况下需要加快检测频率。

3.2 储罐的检修与检测

储罐的检修与检测是确保其安全运行的重要措施,

通常分为定期检修和专项检修两种。定期检修通常每年进行一次,主要包括储罐内部清洗、无损检测和部件更换等工作。储罐内部清洗是检修的第一步。首先将储罐内的物料排空,并进行惰性气体置换,确保内部无残留物和有害气体。然后,通过高压水枪或化学清洗剂对储罐内部进行清洗,清除沉积物和腐蚀产物。清洗后,使用无损检测技术对储罐进行全面检查,如超声波检测、磁粉检测和渗透检测等,重点检查储罐壁厚、焊缝和接缝处的缺陷。专项检修是在发现储罐存在异常情况或经过一定使用年限后进行的全面检修。例如,当储罐存在明显腐蚀、变形或泄漏时,应立即停用并进行专项检修。专项检修需拆除储罐的部分或全部部件,进行详细检查和修复。对于严重腐蚀的部位,应进行补焊或更换,对于无法修复的部件,应及时更换。

4 结语

通过对大型化工储罐的优化设计与安全评估的研究,本文提出了一系列针对性的改进措施,包括结构防护、设备防护和人员防护等方面的优化,以及先进监控技术的应用。这些措施在实际应用中,不仅能够显著提高储罐的安全性和使用寿命,还能有效减少事故发生的可能性。

参考文献:

- [1] 郭东,郭明.湿陷性黄土地大型储罐基础设计[J].建筑结构,2024,54(04):55-60+40.
- [2] 蔡武静.石油化工装置中储罐的结构设计技术[J].石化技术,2023,30(07):12-14.
- [3] 刘文辉.大型煤化工企业甲醇罐区VOCs回收技术应用探讨[J].山东化工,2023,52(11):241-244.
- [4] 孙成德,卢蕾,程伟.大型原油储罐沉降评价方法研究[J].石油化工腐蚀与防护,2022,39(06):1-6+49.
- [5] 戴婧.石油化工油气储罐大型化简析[J].石化技术,2022,29(04):173-175.
- [6] 盛选禹,张宏志.15万m³原油储罐方案优化设计[J].科技导报,2023(11):16-18.
- [7] 于海枫,江航.大型原油储罐的优化设计[J].石油化工腐蚀与防护,2023(09):101-103.
- [8] 刘清龙.大型LNG储罐优化设计与研究[D].青岛:青岛科技大学,2022.

作者简介:

郝爱科(1986-),男,汉族,陕西榆林人,本科,化工工程师,研究方向:化工工艺、化工安全、化工设备、化工生产管理。