

石油化工装置中储罐的结构设计技术

刘青林（山东舜业压力容器有限公司，山东 济南 250300）

摘要：在大型石油储罐的基础结构设计中，底板和壁板是两个重要的组成部分。底板承受着储存液体的重量和地面反力，而壁板则承受着液体的静液压力 and 外界环境的作用力。为确保大型石油储罐的安全性能符合行业标准，本文重点分析了大型油罐的基础结构，并对不同计算方法进行了比较。通过对底板和壁板的实际应力进行对比，验证了宽幅钢板结构设计方案应力最低，完全满足行业标准要求。

关键词：大型储油罐；结构优化；应力分析；有限元分析法

近年来，随着人们生活水平的提高，对石油的需求量也呈现逐年递增的趋势。而作为储存石油的重要设备，油罐受到专业人员的高度重视，并在其不懈努力下逐渐向大型化方向发展。大型油罐具有节省投资、便捷操作管理、减少占地面积和节省钢材等特点，因此在石油化工企业中得到了广泛应用。目前，世界上容积最大的储油罐单罐容量可达到 $20 \times 10^4 \text{ m}^3$ ，而我国最常用的大型油罐容量为 $15 \times 10^4 \text{ m}^3$ ，广泛运用于石油化工企业中。这种大型油罐的应用有效提高了石油化工企业的日常储存量，加强了存储安全性，为企业的可持续发展打下了坚实的基础。基于这一背景，本文以大型油罐为研究对象，结合我国相关的设计规范对油罐的结构进行了初步设计。然后，利用有限元分析法和理论分析法计算了罐体结构的参数，从而确定了储油罐的最佳结构设计方案。这一研究对于优化油罐的设计、提高其安全性和可靠性具有重要意义。

1 大型储油罐的优点

近年来，人们生活水平不断提升，对石油需求量呈现逐年递增的趋势。在这种情况下，大型油罐作为储存石油的重要设备展现出了多样化的优势。

首先，大型油罐能够控制油罐的附件。在石油化工企业中，如果在储油罐容量不变的情况下增加大型油罐的数量，可以显著减少小型油罐的数量，从而降低管道所需各种基础设施（如阀门、仪表等配件）的数量。这样一来，泄漏点的数量就能合理控制，从而提高存储安全性。

其次，大型油罐有利于减少占地面积。对于石油化工企业来说，储油罐的占地面积与企业的经济效益直接相关。此外，还需要考虑储油罐附近的防火性能，以满足行业标准的要求。根据目前我国政府部门规定的防火要求，在石油化工企业的存储能力基本相同时，合理排列无数小型储油罐和大型储油罐，可以有效

降低实际占地面积，并符合相邻储油罐间距的实际标准。

第三，大型油罐有利于节约钢材。当储油罐容量增加时，其表面积会出现不同程度的减小。这样一来，单位容积所消耗的钢材数量就会降低，因此在石化装置中，储油罐的容积和钢材消耗量是成反比的。

最后，大型油罐便于工作人员进行日常操作和后期维护。相比小型油罐，大型油罐提供更宽敞的操作空间，使得操作人员能够更轻松地进行日常工作，同时也更便于进行后期维护和检修。

2 储油罐设计标准和应力计算方法

2.1 储油罐相关设计标准规范

目前，美国和日本两种设计规范中最大的差异在于壁板厚度的计算方法。日本的计算方法主要以定点法为主，即将每圈壁板的最高环向应力距离壁板底部 0.3m 的位置设置为设计压力点，然后根据该位置的静液压力计算出壁板的实际厚度。而 API650 设计标准则以变点法为基础，通过计算每圈壁板最高环向应力的位置，利用该位置的静液压力来计算壁板的实际厚度。这些设计规范的不同计算方法可以满足不同地区和需求的工程要求，但在实际应用中需要根据具体情况进行选择。无论是采用哪种设计规范，都必须遵循相关的标准和规范，确保储油罐的设计和运行安全可靠。此外，在信息化系统的建设中，还需要考虑到数据采集、处理和管理等方面的要求，以提高油库管理的效率和准确度。

2.2 罐体应力计算方法

罐体应力计算方法主要涉及到壁板应力和底板应力两个方面。在壁板应力的计算中，通常采用短圆柱壳法、组合圆柱壳法和长圆柱壳法等不同类型的计算方法。这些方法的选择主要取决于计算精度和计算复杂度的平衡。短圆柱壳法是一种计算精度较高的方法，

但计算过程较为复杂,不适合在企业经营中广泛应用。该方法通过将罐体分成多个短圆柱壳来近似计算应力分布,能够更准确地反映罐体的应力情况。长圆柱壳法相对于短圆柱壳来说,计算流程更简单,但其计算准确性有所欠缺。该方法将整个罐体视为一个长圆柱壳,通过简化计算可以得到相对粗略的应力分布情况。组合圆柱壳法是将前两种计算方法的优点进行融合,既具有较高的计算精度,又相对计算流程较为简便。该方法通过将罐体分成多个短圆柱壳和长圆柱壳来计算应力分布,能够在满足一定计算精度的同时简化计算过程。对于储油罐底板应力的计算,目前通常采用弹性地基梁和刚性地基梁耦合法。这种方法考虑到了储油罐基础的影响因素,但由于影响因素种类较多,导致计算结果存在较大差异性。为了更准确地计算罐底板应力,可以采用有限元分析法。有限元分析能够真实模拟罐体和基础之间的相互作用,具有较高的计算精度和可靠性。

通过有限元分析,可以考虑到罐体和基础之间复杂的相互作用,从而得到准确的底板应力计算结果。然而,有限元分析所需的计算资源和时间较大,需要利用专业软件和专业人员进行计算和分析。这需要企业具备相应的技术支持和资源投入,以确保计算的准确性和可靠性。

3 大型储油罐结构方案设计

3.1 确定储油罐直径

油罐容积要满足如下要求:

$$V = \frac{\pi}{4} D^2 H$$

式中:V表示储油罐设计容量;D表示储油罐直径;H表示储液高度。

根据我国消防相关规范,大型石油储罐的高度一般要低于24m。这是为了确保储罐在发生意外情况时能够有效地进行灭火和救援工作。同时,浮顶罐储液的高度也需要提前预留0.9m左右的空间。这是为了应对液体的膨胀和收缩,以及避免液体溢出储罐的限制。例如,当石油储罐的容积为 $15 \times 10^4 \text{ m}^3$ 时,根据经验公式,可以计算出最小直径为91000mm。然而,在考虑到油罐的使用安全性和经济性时,可以选择直径为100000mm的油罐,并且将罐体高度设定为21800mm。这样设计的油罐既满足了容积需求,又符合安全性和经济性的要求。需要注意的是,油罐的设计除了高度和直径外,还需要考虑到其他因素,如壁厚、支撑结

构等。这些因素都需要按照相关规范和标准进行合理设计,以确保油罐的稳定性和安全性。

因此,在进行石油储罐设计时,需要综合考虑储罐容积、安全性、经济性以及相关规范和标准的要求,以选择合适的直径和高度,并进行合理的设计。这样可以确保储罐的正常运行和使用安全。

3.2 壁板宽度选择

大型储油罐通常采用薄壁壳体结构,其中壁板是承受大量静液压力的关键结构。这种压力通常呈三角形分布。为了符合实际的强度设计要求,在日常应用中禁止使用连续变化截面厚度的钢板来制造储油罐。因此,只能使用较厚的壁板进行焊接。受到企业运输能力和冶金能力的限制,必须合理控制壁板的宽度,通常要求宽度低于3000mm。研究数据表明,底圈壁板的宽度与储油罐的应力直接相关。因此,在本文中,选择了2980mm和2420mm两种不同的壁板厚度作为试验对象,并对这两种方案进行了比较。通过对2980mm和2420mm壁板厚度方案进行对比分析,可以评估它们在承载静液压力方面的性能差异。这将有助于确定最合适的壁板厚度,以满足储油罐的设计要求和结构强度。同时,还需要考虑其他因素,如材料成本、焊接工艺和制造工艺等。这些因素对壁板制造的可行性和经济效益也会有一定影响。因此,在选择最终的壁板厚度方案时,需要综合考虑这些方面的因素,以确保储油罐的结构安全、稳定和经济合理。

3.3 底板设计

储油罐底部由边缘板和中幅板两个环节组成。其中,边缘板作为连接中幅板和壁板的重要环节,在静液压力的作用下,需要承受较高的弯曲应力。根据我国相关规范的要求,大型储油罐的边缘板厚度应大于19mm。为了确保底板的安全性,并结合现场环境的腐蚀度,一般将边缘板的厚度控制在23mm左右。为了降低底板的弯曲应力,需要在边缘板的位置进行延长,使其伸出到管壁外100mm。这样可以增加底板受力的面积,从而减小边缘板上的应力集中情况。而中幅板在静液压力的作用下通常不会承受较高的弯曲应力。根据相关规范的要求,中幅板的厚度通常应大于6mm。然而,为了避免底板出现不均匀沉降导致储液泄漏问题,需要根据实际情况对中幅板的厚度进行调整。一般情况下,中幅板的厚度为11mm左右。因此,在储油罐底部结构设计中,边缘板和中幅板的厚度及延长长度需要根据相关规范的要求,结合现场环境和

实际情况进行合理调整,以确保底板的安全性能和稳定性。

3.4 油罐计量方法选择

企业油库通常用于储存成品油,因此在油库中经常会有大规模的洞库油罐。根据建筑类型的不同,这些油罐可以分为地面立式内浮顶油罐、地面拱顶罐和洞库顶立式油罐等。其中,小型卧式罐和洞库罐数量占据了大部分。工作人员需要根据不同油罐的特征选择相应的计量方法。在计算方法方面,行业标准中通常采用标准体积乘以标准密度的方法和立式油罐截面积乘以静压强的方法来计算油品质量。第一种计算方法通常适用于混合法自动计量系统和液位法自动计量系统。当立式储罐容积表的准确度低于0.1%时,油品质量计量的准确度与压力变送器的数据直接相关,标准密度测量值对油品质量计量不会产生严重影响。因此,在选择计量系统时,可以选择具有较高精确度的压力变送器进行测量,以确保油品质量的准确性。本系统要求整体计量精度能够满足行业要求,因此在选择压力变送器、液位计等计量工具时需要满足以下要求:液位计的精度应控制在1mm左右,以满足计量要求;而在满足库存要求时,精度可调整为3mm;温度计的平均温度差异性需降低到5℃以内;压力变送器对所测量的压力提出更高要求,其测量范围应低于60Pa。此外,在安装仪表的过程中,压力变送器取压孔应安装在油品静止位置,并且要处于计量水平位置,不能超过输油管。液位测量仪表的安装应按照标准流程和现场实际情况进行,以确保测量结果的合理性。

3.5 壁板厚度计算

油罐壁板的厚度计算是根据储存的液体性质、罐壁的受力情况以及相关规范的要求进行确定的。下面是一般情况下油罐壁板厚度计算的基本步骤:①确定液体性质:首先需要确定储存的液体性质,包括液体的密度、黏度、腐蚀性等参数;②计算静液压力:根据液体的密度以及罐内液面高度,可以计算出液体对罐壁产生的静液压力;③确定受力情况:根据液体的静液压力和罐壁的几何形状,确定罐壁所受到的主要受力情况,包括周向应力、纵向应力和切向应力等;④确定材料强度:根据所选用的材料的强度和相关规范的要求,确定材料的抗拉强度、屈服强度等参数;⑤进行厚度计算:根据罐壁所受力情况、液体性质和材料强度等参数,使用适当的厚度计算公式进行计算,

得到罐壁的最小厚度。

需要注意的是,不同的液体性质和受力情况可能会使用不同的计算方法和公式。对于具体的储油罐设计,建议参考相关的规范和标准,或者咨询专业工程师进行详细计算和评估,以确保罐壁的安全性能和稳定性。

4 结语

综上所述,利用美国和日本2种设计规范为基础,选择不同底圈壁板宽度,合理设计大型储油罐结构,利用组合圆柱壳法计算不同结构的壁板应力。经过分析发现,美国规范中的底圈壁板宽度设计方案具有较强的合理性,所以要注重使用美国相关标准。同时,将有限元法应用到方案板底应力计算中,研究底板应力变化时壁板结构参数的变化规律。

参考文献:

- [1] 蔡洪涛,陈伟.一种梅花形横截面的大型油罐[J].机械工程与自动化,2023(04):102-103.
- [2] 马涛.高压气源储罐设计优化及制造要点分析[J].中国化工装备,2023,25(04):45-48.
- [3] 薛永强.储罐底板腐蚀声发射检测智能评价技术研究[D].沈阳:东北石油大学,2023.
- [4] 胡永,袁胜强.常压立式钢制保温储罐罐壁腐蚀原因分析及防范措施[J].科学技术创新,2023(14):77-80.
- [5] 胡健.电动潜油离心泵试验流程系统热流耦合分析[D].沈阳:东北石油大学,2023.
- [6] 刘梦仙,李刚,李晓兰等.三位六通联动球阀的设计与应用[J].天津化工,2023,37(03):136-139.
- [7] 王东军.大型液化天然气储罐桩基抗震设计中桩-土动力交互作用的影响[J].石油化工设备,2023,52(03):44-50.
- [8] 邓彬,宋广然,杨玮宸等.液化天然气接收站结构设计及问题解析[J].化学工程与装备,2023(05):55-56.
- [9] 扬帆.大型低温液化气储罐国家标准 GB/T 26978-2021 修订解读[J].压力容器,2023,40(04):52-58.
- [10] 丁宇奇,杨超梁,芦烨等.基于多判别条件的储罐内爆弱项性能评价分析[J].工程设计学报,2023,30(02):144-153.
- [11] 盛涛涛.埋地罐的外压计算、结构优化及防腐[J].化工装备技术,2023,44(02):30-33.
- [12] 张宗超.70MPa芳纶纤维IV型储氢气瓶结构设计及自紧力优化[D].沈阳:东北石油大学,2023.