

大型储罐基础沉降及罐体变形检验方法及应用

胡龙年 孟安琦 (天华化工机械及自动化研究设计院有限公司, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 大型储罐地基沉降和罐身变形是影响其使用安全的主要原因, 本文从基准点设计、观测点设置、观察方法等方面进行了阐述。针对储罐地基沉降和储罐椭圆形变形的实时监控, 本文以一种双盘浮顶罐为实例, 应用全站仪监测储罐外表面和环壁相对坐标法, 检测储罐沉降及变形情况。利用实测资料进行了储罐地基的沉降量分析, 并应用最小二乘法对其进行了椭圆形化变形分析, 对储罐的运营和管理有一定的指导作用。

关键词: 大型储罐; 基础沉降; 罐体变形; 检验应用

油气储运装卸场区是连接生产、运输、销售的重要环节, 其安全高效运行尤为关键。在矿区内, 储罐是原料储备、调合和输油的关键设备, 其内部贮存着易燃、易爆、对环境造成污染的介质, 如果出现安全事故, 将造成严重的后果。因此, 油库的安全使用是油气储运体系中的一个关键问题。大型储罐地基沉降和储罐变形是影响储罐使用安全和可靠性的一个重要指标。本文对塔里木油田轮南油库 6# 储罐的地基沉降和罐身变形的检测作了简单的介绍。

1 储罐的结构形式

大型储罐的结构由三部分组成: 罐壁、顶盖和壁底; 另外, 还设有防雷、静电接地装置、开口补强附件、排水管、排水沟等部件。

1.1 罐底结构

根据储罐罐体的内径大小, 对罐底板进行相应的处理, 具体可分为有环状边缘板和无环状边缘板两类。通常采用对接、搭接和两种方法结合的方式进行焊接。边缘板和中幅板的焊接和边缘板、中幅板自身的焊接, 一般采用单边连续焊。在下圈的罐壁和底板的边沿之间经常采用连续焊接。

1.2 罐顶结构

根据顶盖的不同, 储罐可以分成固定顶罐、外浮顶罐和内浮顶罐。固定顶罐的顶部由拱顶、锥顶和网壳顶组成, 顶结构随着罐体液面的上升和下降而上升和下降, 但油品的挥发性较大, 适合小型原油储藏。外浮顶储罐的顶部与储液面相连, 并随着储液量的变化而变化, 在浮顶与内壁间设有密封装置, 在固定顶罐顶部与液体之间没有任何气体, 储液量很低, 所以, 国外的大型储罐多采用外浮顶储罐来贮存原油, 本文对外浮顶储罐进行了研究。内浮顶罐是一种由拱顶和浮顶组合而成的组合结构,

但由于其成本高、维护不便, 其内部浮顶罐多用于储存航空煤油等油品。

2 大型储罐基础沉降研究现状

2.1 储罐不均匀沉降研究现状

2010 年, 王琦利用有限元方法, 对不同孔径、不同长度的超长桩进行了计算, 并提出了超长桩的有效桩长问题, 并对不同土壤状况对其影响进行了比较和分析。有学者在 2013 年根据莫尔—库罗姆准则, 建立了桩—土的三维有限元模型, 探讨了不同桩长、桩数的群桩基础的沉降特性。结果表明, 当受力条件相同时, 可以通过增大桩间距和桩长来提高沉降的效果。一些学者运用 ANSYS 有限元软件, 对 160000m^3 的储罐进行了研究, 并结合桩身的主荷载, 结合桩身、底板的变形及变形规律, 给出了相应的桩基优化设计方案。部分学者对软弱地基的横向变形和地基沉降机制进行了深入的探讨。通过对等体积模型横向变形的修正后沉降公式的分析, 得出了不等容积模型下的沉降计算公式。有学者通过对国内外桩基础沉降的分析、总结和评述, 采用 FLAC3D 软件对桩基础进行了数值模拟, 得到了相应的沉降量。分析结果显示, 增大桩长能明显降低桩的沉降。Fellenius 通过对各种类型的大型储罐地基沉降资料的分析, 探讨了外桩与内桩的差别, 以及桩间距和土体质量对桩端抗力的影响。有学者利用数值模拟方法对液化天然气站地基的沉陷进行了分析, 通过引入有限差分法和有限元方法, 得到了邻近荷载作用下地基的沉陷规律。有学者利用有限元软件对某大型储罐差异沉降进行了数值模拟, 以达到预报不同沉降效果的目的, 为工程实践提供了理论依据。为了对已测量的储罐地基进行分析, 有学者利用 PLAXIS 岩土有限元软件对其进行了三维数值模拟, 首先利用单桩数值模拟得

到了单桩的应力状态,再利用现场实测资料进行数值仿真,得到了桩的力学机制,并将其与单桩进行对比,并结合现场监测资料和数值仿真结果,提出了一种适合于大型 LNG 贮罐群桩基础的沉降变形计算方法。

2.2 储罐桩土结构相互作用研究现状

有学者研究了一种具有双层阻尼支撑的储液箱在长期地震作用下的地震反应,并应用有限元程序对其进行了数值仿真。有学者对三种隔震体系的柱状储罐进行了动态反应研究,并从长宽比、隔振周期、摩擦因数等几个关键参数的基础上,对储罐的动态响应进行了分析。研究结果显示,地基隔震可以有效地减小地下储液箱的地震响应。同年,林杨对桩—结构联合作用下的储罐动态反应进行了研究,结果表明:高承台式隔震储罐的减震效果优于低承台储罐,而且隔震结构的减振对上部结构的影响很大,而内罐和外罐之间的交互作用不大,可以独立地加以考虑。该学者对具有宽、窄柱状的基础隔震容器进行了地震响应分析。结果表明,地基隔震能显著降低地下储液箱的地震响应,而地基隔震对狭长仓的减震效果优于宽舱。有学者利用 ANSYS 有限元软件对大型 LNG 罐体进行了动态分析,结果表明,在考虑桩—土—结构相互作用的情况下,罐体的振动频率明显降低,周期也随之增加,而考虑到桩—土—结构相互作用后,其变形量明显降低。结果表明,地基与地基的相互作用有利于上部结构,其动态响应比空心容器高 2~3 倍。为了分析桩基础的沉降,贺超运用有限单元和剪位移法,对大型 LNG 罐体进行了桩基的优化,并运用 ANSYS 软件对各种地震波的反应进行了研究,得出了各桩间的剪力分布均匀。王皓淞在 2014 年以 LNG 储罐为实例,对其进行了较为详尽的数值模拟,并对其进行了模拟,并提出了液—固耦合的方法。同年,郑建华将地基上的地基减震问题简化为弹性—阻尼体系,并将其纳入 LNG 储罐基础隔震动力学方程,并对其进行了分析。研究结果显示,液化石油气罐基体的隔震减振效果在桩—土作用下的作用更加显著。有学者提出了一种基于桩土和无桩土的大型 LNG 储罐模型,并将在长期地震作用下,考虑桩—土—结构相互作用的储罐与不考虑桩—土—结构相互作用的储罐基础剪力和晃动波动的比较,得出在长期地震加载下,储罐的晃动波高明显提高。有学者对液态水—固耦合动力作用下的液态水动力响应进行了非线性有限元计算,并基

于弹性储罐的附加质量模型,建立了一种基于弹性容器的封闭式圆柱体的附加质量函数。有学者运用 ANSYS 软件对大型 LNG 罐桩的桩土作用进行了数值模拟。有学者采用 ADINA 有限元软件,对中软场地地面大型 LNG 罐体进行了地震反应分析。高小波等人在研究罐桩—土—结构相互作用的情况下,对罐体的晃动和脱离问题进行了研究,并进行了振动台实验。有学者对唐山地区 3 种不同的施工工艺桩基进行了水平静载和桩身试验,并对其在水平荷载下的变形、弯矩、剪力等进行了分析,并从 H—Y0 曲线的趋势得到了相应的结果,为工程设计提供了依据。

2.3 国内外研究综述

综上所述,国内外有关专家从储罐的径向位移角度出发,探讨了储罐在沉降作用下的变形,并根据其变化规律及拟合公式,为储罐的沉降安全性评估提供参考。然而,许多学者在研究非均匀沉降条件下,往往忽视了槽体的几何尺寸对其结构响应的影响。但研究发现,槽体的几何参数与槽体的结构反应有很大关系,若不加以考虑,会使公式判据的适用性下降,进而影响整体评估的可信度。针对这一问题,本文采用变参数大储罐的有限元分析模型,对各种敏感参数对储罐罐顶变形的影响进行了分析,并给出了一种适用于非均匀沉降下的储罐罐顶径向位移的新方法。

3 原油储罐基础不均匀沉降所带来的影响

我国石油储罐正在向大型化方向发展,在设计前期是否具有合理性,后期长期使用能否有效地维护,都会引起储罐不同程度的沉降。原油储罐的沉降问题长期以来都是工程设计单位和施工单位所关心的问题,其主要原因是由于原油的沉降会对储罐的正常使用产生较大的影响。原油储罐的沉降对储罐造成的影响有两个:一是由于储罐的沉降引起了软土地基的下沉,使得储罐底部产生了一定的变形,这些变形会随着时间的流逝而产生渗漏,从而使储罐无法正常工作;第二种是由于大范围的基础沉降,会使注浆管道产生破裂,从而直接造成原油泄漏。地基的沉降还会对浮顶的自由升降产生一定的影响,从而使顶板失效,从而引起重大的安全事故。

4 储罐基础沉降及罐体变形检验方法

采用独立的高程体系,在场地中埋置 3 个以上的参考,并将其置于建筑物的压力传递距离之外。为了避免基准点受冻胀的影响,为了确保基准点的

稳定性,必须将基准点的埋设深度超出冻土层。在储罐基础的环壁混凝土外壁上,采用埋设钢筋的方法,按照周向均匀分布的原则,设置32个观测站。通过粘贴反射板,将32个观测站均匀地布置在罐体的外周面。利用全站仪对储罐的各个观测点进行了平面坐标和三角形高程测量,并对各个观测点在不同时间的空间位置进行了测量,得到了三个位元的空间位置(包括平面和高程),再根据平差的结果,计算出各个位移和变形的数值。

5 储罐基础沉降及罐体变形检验实例

5.1 监测方案

塔里木轮南油库6#储罐是一种双盘浮顶储罐,其额定容积为 50000m^3 ,内部直径为 60000mm ,油箱高度为 19500mm ,贮存介质为原油。在此基础上,进行了地基和罐身的地基下沉和罐身的变形监控。

在基础环壁上,按照周向均匀分布的方法,设置了32个地基沉降观测站。采用 13.0m 、 10.0m 、 8.0m 、 4.0m 、 2.5m 、 0.5m 等6个标高处进行了储罐变形的监测。

5.2 基础沉降计算

依据SH 3068—2007《石油化工钢储罐地基与基础设计规范》中的规定,计算出储罐非均匀沉降指数,即: $\Delta S/l \times 100\% \leq \delta$

式中: ΔS 为罐周相邻两测点的沉降差; l 为两点间的罐周弧长, mm ; δ 为不均匀沉降度, $\%$ 。

5.3 罐体椭圆度计算

利用最小二乘法求解了储罐各个监控层的椭圆度,最小二乘法可以最大限度地减小误差的平方和,并以最优的方法找到最优的值,从而得到了最小值。由于罐基不均匀沉降,造成罐体的径向椭圆化变形,罐壁产生额外的应力,造成罐壁局部屈曲,从而使罐壁发生屈曲,从而影响到储罐的正常使用。采用全站仪对储罐进行巡视、测量,对储罐的沉降和变形进行监控。此方法简便、简便,适用于储罐的日常监控和管理。

6 控制储罐不均匀沉降的对策分析

6.1 地基沉降预防性对策分析

防灾减灾措施在工程前期多采用,前期加强可有效减少后期使用中的各种问题。地基沉降的预防措施有:首先,加强储罐基础的中心。在施工前期,应先勘察基地的软弱地基,并依据勘察成果进行工程设计,施工过程中要严格按照设计要求进行地基的加固和填筑,并在地基上进行加固处理。第二,加强储罐周边的整体刚性。在对储罐中心进行加固

后,必须对储罐的底部进行加固,即修建水泥墙,加强储罐底部的土层。第三种是内部和外部的回填法。这种方法主要是利用砂砾代替原来的回填土,并对物料进行强化,从而提高了储罐底板的承载能力。

6.2 地基沉降发生后对策分析

在长期使用中,石油蒸气的侵蚀和其他自然灾害也会对储罐基础的稳定产生一定的影响。在施工中,沉降的控制也是一个重要的步骤,具体的方法有三:第一部分是在下陷处开挖沟槽,加速下层孔隙水的排泄和地质固结。第二部分是解决罐体一侧沉陷过大的问题,采用高压水泥浆提起罐体,再提起罐底泥土。第三部分是针对罐底产生的沉陷问题,通过加固罐周限的方法来控制地基土的变形。

6.3 原油储罐基地设计期间需要注意的问题

在石油储罐基础的设计中,应考虑以下几点:首先,分析土壤状态和受压能力。在储罐基地的前期,应对其地基的地基和承压能力进行细致的分析,确定其地基的土壤性质,然后再进行设计。但有一点要注意,那就是要保证勘探资料的可靠性,而以这些资料为依据,设计的工程方案也要保证安全。第二个是项目的质量管理。原油储罐是一种具有高度危险性的装置,当其发生变形或泄漏时,很容易发生火灾和爆炸。因此,在石油储罐的建设中,应从设计和施工两个方面保证其质量,并对各个环节的质量进行监控,以保证储罐的安全。

7 结语

原油储罐是石油储藏的重要设备,当它发生变形或破裂时,很容易发生火灾和爆炸,造成储罐变形、破裂的主要原因就是由于它的沉降。储罐的沉降问题主要受工程设计的合理性和使用过程中的客观环境的影响,可以通过加强工程地基来进行防治,而对发生沉降的储罐,可以通过各种后期的加固措施加以控制。

参考文献:

- [1] 赵永涛,张金池,张昱涵,等.原油储罐基础沉降在线监测与安全性研究[J].工业安全与环保,2022,48(1):15-17.
- [2] 李宗伟,李涛,胡谦,等.大型原油储罐沉降观测及其评价方法[J].石油化工腐蚀与防护,2021,38(5):38-42.

作者简介:

胡龙年(1988-),男,工程师,从事特种设备检验检测行业。