

大型原油储罐试水试验期基础沉降规律及综合评估研究

马睿 (中石化第五建设有限公司海外分公司, 广东 广州 510700)

摘要: 十万立储罐试水试验过程中基础沉降观测是储罐安装完毕后很重要的一个工序, 文中以新疆库车十万立原油储罐安装完毕后试水试验基础沉降为例, 结合施工现场实际环境, 对储罐试水试验过程中基础沉降的观测方法, 观测步骤, 注意事项及整个试水试验过程进行了分析与总结, 对观测到的数据进行了分析处理, 得出了储罐基础沉降的曲线图, 不仅能及时的发现沉降异常, 同时为储罐整体验收提供了有力的数据支持。

关键词: 基础沉降; 试水试验; 沉降观测

中图分类号: TE972

文献标识码: A

文章编号: 1674-5167 (2025) 035-0156-03

Comprehensive Assessment of Foundation Settlement Behavior during Hydrostatic Testing of Large Crude Oil Storage Tank

Ma Rui (Sinopec Fifth Construction Co.,Ltd., Overseas Branch,Guangzhou Guangdong 510700, China)

Abstract: The monitoring of foundation settlement during the hydrostatic test of a 100,000-cubic-meter crude oil storage tank is a critical quality assurance measure following installation. This paper systematically examines the methodology, procedural steps, and essential precautions for foundation settlement observation, as applied to a tank project in KuChe, Xinjiang. Based on the specific site conditions, the study analyzes the monitored data collected throughout the test duration. The subsequent processing of this data enables the generation of a settlement-time curve, which serves as a key indicator for identifying anomalous settlement in a timely manner. Furthermore, the findings provide robust data support for the comprehensive acceptance assessment of the storage tank structure.

Keywords: foundation settlement; water-filling test; settlement observation

1 储罐建设背景及沉降观测必要性

1.1 库车商储罐建设背景

随着国民经济的不断发展和西部大开发战略的实施, 西北地区对油品的需求量不断增加, 炼厂加工规模势必会进一步扩大, 塔河炼化公司顺势而为, 计划建设 1000 万 t/a 炼油, 100 万 t/a 乙烯项目, 本储罐工程的建设, 既可以保障西北油田分公司塔河原油和顺北原油上产后储存的要求, 又为塔河炼化公司提供了长期稳定的原油资源存储, 在宏观上稳定国家原油价格, 有利于国民经济平稳运行, 同时作为国家战略原油储备, 确保不时之需的原油供应。其工程内容为 8 座单罐容积 $10 \times 104\text{m}^3$ 浮顶原油储罐以及围墙范围内的配套设施。

1.2 储罐基础沉降观测必要性

新建储罐基础沉降的均匀与否直接影响储罐的使用功能, 同时隐藏巨大安全隐患, 储罐试水试验过程中沉降观测是必不可少的工作, 储罐基础完成交安装施工后, 由于安装过程中作业人员, 构件吊装等活荷载的不均匀性和不对称性, 以及试水试验过程中水流的流动性和冲击性都会影响储罐基础的沉降, 因此储罐基础沉降观测不但可以及时发现沉降异常情况, 采取相应措施, 而且当基础产生规范范围内均匀的沉降时, 可以检查与储罐相连接的工艺管线, 消防管线

等与罐本体相连接其他附件有无应力变形或断开等问题, 同时储罐基础沉降观测可以为储罐的整体验收提供数据支持, 同样也可库车地区同类型地基承载力计算提供依据。

2 储罐试水试验及基础沉降观测

2.1 前期准备工作

由于本次沉降观测以储罐安装完毕后试水试验阶段为主, 因此需要按要求完成相应准备工作, 使储罐具备试水试验条件, 结合质量验收规范和项目实际情况及现场条件, 其前期准备工作主要有以下几个方面^[1]:

①储罐的主体结构以及相连接附件安装完毕, 并经监理及业主验收合格;

②储罐壁板及相连接法兰所有焊缝的无损检测均符合要求, 且有正式的检测报告;

③清理储罐内的所有临时杂物, 并将储罐壁上的人孔及与工艺相连接的法兰口加装临时盲板, 并经监理及业主验收合格;

④上报储罐试水试验的上水方案, 上水及排水管线布置合理, 并得到监理及业主的批准;

⑤经前期设计验算, 本地市政水源压力可以满足上水要求, 但为确保万无一失, 需要准备上水水泵;

⑥ DS05 型水准仪及配套水准尺应经法定计量鉴定机构鉴定合格, 最大误差在规范规定的范围内, 并

附有效期内的合格证明书报监理验收。

2.2 基准点的选取及沉降观测点的编号

根据设计文件要求, 储罐基础沉降观测测量精度宜为二级水准测量, 二级水准测量要求不少于三个基准点, 基准点间形成闭合, 根据项目储罐所在的位置, 在储罐周围 100m 范围内寻找相对稳定的三个高程基准点, 并经过第三方资质公司校验使误差降到最低, 沉降观测点根据储罐基础图纸要求, 采用事先预埋好的 26 个沉降观测点, 将靠近基准点处的沉降观测点编为 1 号观测点, 即储罐西侧偏北方向的第一个沉降观测点, 之后按照顺时针方向依次编号为 2-26 号沉降观测点 (如图 1 所示)^[2]。

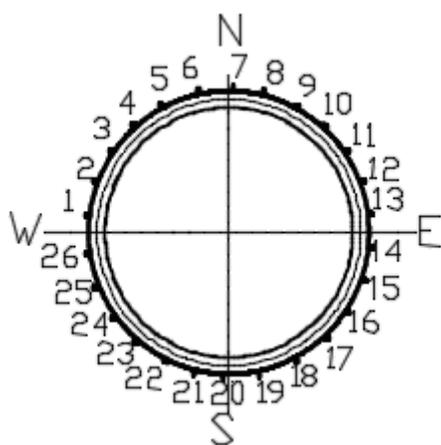


图 1 沉降观测点分布图

2.3 试水试验沉降观测要求

2.3.1 一般规定

由于项目设计文件对试水试验的规定与 SHT3528-2014 规范有所不同, 因此此次试水试验经与业主沟通以两者要求严者为准^[3]:

① 二级水准测量视线长度要求为 $\geq 3\text{m}$ 且 $\leq 50\text{m}$, 重复测量次数应 ≥ 2 次;

② 沉降观测前应将观测用的水准仪及水准尺放置于露天阴影下, 使观测所用仪器与外界气温趋于一致;

③ 在整个试水试验过程中储罐基础沉降应由同一有资质的测量人员观测, 每天不少于两次;

④ 沉降观测应包括储罐充水前, 充水过程中, 充满水后, 放水过程中, 放水后 48h 内的全过程;

⑤ 上水过程中上水至 5.1m, 10.1m, 15.1m 时停置的时间不得少于 24h, 满水 20m 时停置不得少于 120h。

⑥ 试水试验过程中上水速度不大于 3m/d, 放水过程中, 放水速度不大于 2m/d。

⑦ 试水试验过程中, 不均匀沉降量小于或等于 5mm/d。

⑧ 根据规范要求, 任意直径方向, 基础最终沉降差允许值为 $0.0035D$ ($D=80\text{m}$)。

2.3.2 充放水高度节点

按照试水一般规定及设计文件要求并结合本项目实际情况, 本试水试验过程中除了每天测量原始记录外按照上水前, 上水至 1/4H, 上水至 1/2H, 上水至 3/4H, 上水至 H, 放水至 1/2H, 放水完毕六个关键高度节点来整理记录沉降观测数据^[4]。

2.4 试沉降观测数据及沉降曲线

在试水试验前, 按照要求进行上水前的沉降观测, 并将上水前测得的沉降观测点的标高作为零点, 数据处理中将当前测得的沉降观测点的标高与该观测点上次标高之差作为本次沉降观测点的沉降量, 并规定下沉为正值, 基础反弹为负值, 注意每一次测量的顺序为从观测点 1-26-1, 形成闭合测量, 如无法闭合, 再次进行测量, 直至沉降观测数据形成闭合, 然后将原始测量数据检查后, 按照试水试验高度节点整理至表 1 当中, 形成沉降观测记录表, 为了更加直白明了的掌握储罐基础沉降情况, 将表 1 中的数据以沉降量曲线的形式表达如图 2, 同时取储罐西侧的 1 号观测点以沉降量和时间曲线表达, 如图 3。

表 1 沉降观测数据记录 (mm)

方位	W				N				E					
观测点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
上水前	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
上至 1/4H	9	8	8	7	7	6	7	6	5	5	6	6	6	6
上至 1/2H	7	6	6	6	5	5	6	5	6	8	3	6	4	3
上至 3/4H	6	5	5	4	5	4	5	4	3	2	5	4	6	6
上水至 H	4	4	6	3	4	2	2	2	2	2	3	2	3	2
放至 1/2H	-6	-4	-4	-2	-3	-2	-4	-2	-3	-2	-1	-1	-2	0
放水完	-6	-4	-6	-5	-6	-4	-5	-6	-4	-6	-6	-8	-7	-6
累计沉降	14	15	15	13	12	11	11	9	9	9	10	9	10	11

续表 1 沉降观测数据记录 (mm)

方位	S										W	
观测点	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
上水前	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
上至 1/4H	6	6	9	6	8	10	9	7	7	7	8	7
上至 1/2H	5	3	3	5	4	3	3	5	6	6	7	8
上至 3/4H	6	6	6	6	5	5	5	5	7	5	4	5
上水至 H	1	2	1	1	5	5	4	4	4	5	5	4
放至 1/2H	-2	-1	-2	-3	-2	-5	-2	-2	-5	-2	-1	-2
放水完	-6	-7	-7	-5	-8	-6	-7	-7	-4	-6	-9	-8
累计沉降	10	9	10	10	12	12	12	12	15	15	14	14

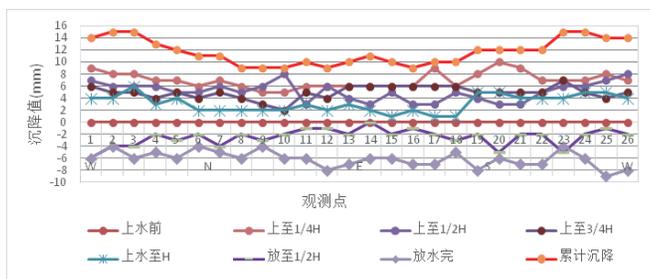


图2 沉降曲线图

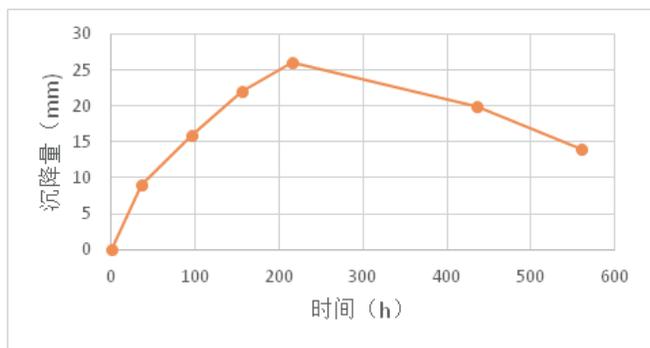


图3 沉降-时间曲线图

2.5 沉降观测分析

由表1的上水高度节点沉降观测数据和图2的沉降量曲线可以看出上水至1/4H时引起的沉降量较明显，但由沉降量曲线可以看出沉降趋于均匀，当上水至高度H即上满水时，和刚开始上水相比，沉降量变小，沉降量曲线仍然平缓，沉降均匀，因此可以看出整个上水过程随着上水高度的变化沉降量在上水高度节点区间内呈递减趋势，上水高度在1/4H、1/2H时沉降明显，上满水时沉降量不明显，但总体趋于稳定。放水过程中放水至1/2H以前，基础沉降反弹量较小，放水完毕静置120h后，基础沉降反弹量变大，但整个放水过程，由沉降量曲线可以看出，基础沉降反弹趋于均匀稳定。

由整个试水试验过程的累计沉降量可以看出储罐西边基础沉降量比东边基础沉降量大，结合项目现场施工条件，发现此现象是由于试水试验过程中在储罐西侧有新建马路压路机震动所致，但综合所有沉降观测点的累积沉降，本次试水试验满足任意直径方向沉降量不大于 $0.0035D$ 的要求。

由图3时间和沉降量曲线可以看出，刚开始上水时曲线斜率较大，说明在单位时间内储罐基础沉降速率较快，同图2的沉降量曲线吻合，但是随着上水高度的增加可以发现曲线斜率逐渐变小，说明单位时间内储罐基础沉降速率变慢，同样和图2的沉降量曲线吻合，说明东南西北四个方向储罐基础沉降趋于同步，放水过程和上水过程刚好相反，曲线斜率先缓后急，但整个过程趋于同步。

3 综合评估

由本次试水试验过程中基础沉降观测可知，储罐基础沉降观测测量次数多，过程复杂，对测量人员的要求极高，其每次测量结果都会对最终的沉降观测结果产生影响，因此试水试验过程中基础沉降观测的每一步都很重要，要考虑到各种不利影响，将影响降到最低^[5]。由于篇幅有限，文中仅对项目8台储罐中的一台储罐进行了沉降观测的总结与分析，其整个过程具有通用代表性，为项目后续7台储罐的沉降观测提供了方法与技巧。

大型储罐基础沉降不止试水试验阶段发生，移交业主使用过程中依然需要按周期进行观测，根据本次试水试验，交接过程中有以下方面需要注意：①基准点的维护与交接，保证施工中与使用过程中采用同样得基准点；②除按规范正常上报沉降观测资料之外，将过程中的原始记录一并上交业主；③将沉降观测记录及时返设计，进行承载力及同类地基承载力核算，为后续设计提供依据；④必要时可提高等级进行观测；⑤由本次试水试验储罐基础沉降观测可知，传统沉降观测方式过程复杂，人为和环境因素影响较大，无论怎么精准测量，最终闭合时总有误差，虽然误差在允许范围内，但每一次观测时影响因素不同，且测量期间天气变化不同，因此测量误差不易控制。在以后的施工中应顺应科学技术的发展，在沉降观测的方法上进行改变，如采用感应产品，或者其他受人为和环境影响较小的测量方法，相信随着科学技术的发展，大型储罐基础的沉降观测方法也会更加合理，更加精确，误差受人为和环境因素影响更加减小。

参考文献：

- [1] 张中林. 10万立双盘式浮顶罐上水沉降观测[J]. 黑龙江科技信息, 2014, 05(5): 153-153.
- [2] 张浩. 石油成品油储罐充水沉降试验的分析[J]. 石油库与加油站, 2021, 30(1): 5-5.
- [3] SH/T3528-2014, 石油化工钢制储罐地基与基础施工及验收规范[S]. 工业和信息化部, 2014.
- [4] 程久欢, 刘浩, 周子鹏. LNG储罐基础沉降观测初探[J]. 石油工程建设, 2010, 36(6): 65-67.
- [5] 朱尧. 大庆南三地区大型储罐沉降观测[J]. 科技风, 2011(12): 177-177.

作者简介：

马睿(1991-), 男, 汉族, 甘肃兰州人, 2016年毕业于常州大学城市建设学院, 土木工程专业(本科学历), 中级工程师, 现从事海外石油化工装置建设项目管理工作。