

立式储罐变形评估的三维激光扫描实验

丁芳芳¹ 睢星飞¹ 刘文才¹ 王磊² 郝笑笑¹

(1. 中国石油集团安全环保技术研究院有限公司; 2. 中国石油青海油田公司)

摘要 针对常规储罐检测工作量大、效率低的问题,利用三维激光扫描仪对某储罐进行外部检测,获取高精度的储罐三维点云数据,通过建模形成一个拟合罐体,与理想罐体进行3D比较得到储罐变形的整体情况,该方法能够对储罐的变形评估做出准确判断,距离储罐底板0.3 m处有最大径向偏差51.63 mm,0.9 m处有最大倾斜度 0.177° ,基于三维激光扫描技术为储罐罐壁变形检测提供了一种可靠的新方法。

关键词 变形检测; 评估; 三维激光扫描; 立式储罐

DOI:10.3969/j.issn.1005-3158.2020.01.007

文章编号: 1005-3158(2020)01-0021-03

0 引言

随着国民经济快速发展,储罐成为保障我国油气资源及化工物料储备的重大基础性关键装备。储罐在长期服役过程中,由于受到自身材料及外界环境等因素的影响,储罐壁板可能会出现不同程度的变形,严重时可能会导致泄漏、卡盘等事故^[1],因此,需要定期对储罐变形进行检测评估,确保储罐安全运行。通常采用全站仪获取罐壁上的离散点坐标,从而分析储罐罐壁变形情况,该检测方法工作量大、效率低、自动化程度低,不能全面反映罐体变形程度^[2-3]。本文基于三维激光扫描技术对储罐进行变形检测,能够快速、准确、全面获取大量点云数据,能够更精确的计算储罐的变形量,判断储罐的变形位置,同时,点云图可以直观反映储罐的变形分布情况,为储罐变形的检测和检维修提供技术支持。

1 现场数据采集及预处理

实验目标物为某实验基地的一座 200 m^3 的露天实验罐,该罐已经完成清罐,并敞开放置3个月以上,本实验选用Faro M70三维激光扫描仪获取实验现场的立式储罐点云数据,Faro M70扫描仪分辨率高达 1.65×10^8 像素,彩色;同轴设计,无视差,纵向/横向视野范围 $300^\circ/360^\circ$;最大垂直扫描速度97 Hz,光源为1级激光,波长 $1\ 550\text{ nm}$ 。本次实验采集储罐内壁点云数据,由于储罐体积较小,只需要设置一站测量。将仪器架设在储罐底板中央,如图1所示。

利用立式储罐的内扫数据进行分析,将获得的点云数据导入Geomagic Control X软件中,进行数据预处理,

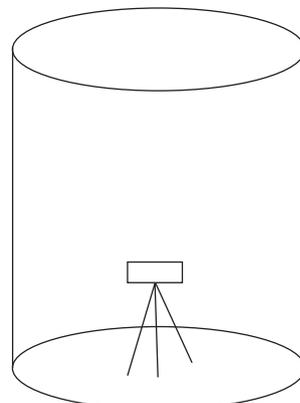


图1 储罐内扫仪器站点示意

通过自动配准实现数据的拼接。配准的过程就是进行坐标系转换,建立同一坐标系下的点云数据坐标。通过降噪去除噪点,建立储罐内壁点云图,如图2所示。



图2 储罐内壁点云图

2 点云数据处理

2.1 径向偏差计算

利用本实验获取的大量点云数据坐标,能够更精确的分析储罐的变形情况。首先,对储罐的点云数据进行切片,设置切片厚度为 1 mm,切片间距为 0.5 m;得到 13 组切片点云坐标,分别对切片的点云坐标进行拟合,获得不同高度切片的拟合圆心坐标及半径值,见表 1。

表 1 切片的圆心坐标及半径

编号	点云数量/个	拟合圆心坐标/m	半径/m
0 [#]	652	(-0.133 7, -0.007 5)	3.103 3
1 [#]	749	(-0.134 7, -0.006 8)	3.101 9
2 [#]	750	(-0.134 4, -0.009 5)	3.106 0
3 [#]	792	(-0.130 7, -0.007 4)	3.096 5
4 [#]	660	(-0.132 0, -0.006 1)	3.101 6
5 [#]	684	(-0.130 6, -0.008 9)	3.098 4
6 [#]	625	(-0.131 1, -0.008 0)	3.093 8
7 [#]	607	(-0.129 0, -0.006 0)	3.095 3
8 [#]	570	(-0.130 0, -0.005 2)	3.096 5
9 [#]	573	(-0.126 4, -0.005 3)	3.093 2
10 [#]	526	(-0.128 4, -0.003 8)	3.090 2
11 [#]	507	(-0.125 3, -0.003 5)	3.090 2
12 [#]	520	(-0.127 2, -0.001 3)	3.087 9

注:从底板至罐顶,切片依次从 0[#] 到 12[#]。

根据每个切片导出的大量坐标数据和各个切片拟合的圆心坐标,计算出切片每一个点坐标的径向偏差值。

$$\Delta d = \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2} - R \quad (1)$$

式中: Δd 为径向偏差, m; R 为储罐设计内径, m; 罐壁上点 M 坐标为 (x_i, y_i) , 点云样本集 $(x_i, y_i) i \in (1, 2, 3 \dots N)$; 切片拟合圆心 O 点坐标 (x_0, y_0) , 本文是储罐内扫取得点云数据, 所以计算径向偏差不考虑罐壁厚度。计算结果见表 2。

根据 SY/T 5921—2017《立式圆筒形钢制焊接油罐操作维护修理规范》规定:底圈罐壁 1 m 高处,内表面任意点的半径偏差不应超过表 2 规定;在底圈罐壁 1 m 高以上,测得的半径偏差不应超过底圈板 1 m 处的 3 倍^[4]。壁板内表面任意点半径的允许偏差见

表 3。对比表 2 和表 3 可以看出,除了 10[#], 11[#], 12[#] 切片未超出标准,其他切片的径向偏差均超出标准要求的 39 mm。

表 2 切片最大径向偏差

编号	高度/m	最大径向偏差/mm
0 [#]	0	40.55
1 [#]	0.5	49.03
2 [#]	1	47.86
3 [#]	1.5	47.86
4 [#]	2	46.17
5 [#]	2.5	50.39
6 [#]	3	42.78
7 [#]	3.5	41.94
8 [#]	4	43.7
9 [#]	4.5	42.76
10 [#]	5	36.96
11 [#]	5.5	33.71
12 [#]	6	34.96

表 3 壁板内表面任意点半径的允许偏差

半径允许偏差/mm	油罐直径/m			
	$D \leq 12.5$	$12.5 < D \leq 45$	$45 < D \leq 76$	$D > 76$
底圈板	±13	±19	±25	±32
其他各圈板	±39	±57	±75	±96

2.2 储罐倾斜度计算

当储罐发生变形时,储罐不同切片的圆心也发生变化,切片的拟合圆心连成的直线与垂线的夹角即为储罐的倾斜度。

根据表 1 各切片的圆心坐标计算储罐的倾斜度,假设底板 0[#] 切片为基准圆,计算倾斜度。

$$\theta_i = \arctan \frac{\sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2}}{\Delta H} \quad (2)$$

式中: θ_i 指第 i 个切片的倾斜度; (x_i, y_i) 指切片圆心坐标; (x_0, y_0) 指第 0[#] 切片拟合圆心坐标,以 0[#] 切为基准圆, ΔH 指切片距离底圈圈板的高度,计算每个切片相对于 0[#] 切片的倾斜度。

根据标准 JJG 168—2018 规定:罐体倾斜度不得超过 1°,罐体不同高度倾斜度见表 4,由表 4 可以看出,罐体最大倾斜度为 0.139°,未超出标准要求^[5]。

表4 罐体不同高度倾斜度

切片编号	高度/m	相对0#切片的倾斜度/°
0#	0	/
1#	0.5	0.139
2#	1	0.121
3#	1.5	0.115
4#	2	0.063
5#	2.5	0.078
6#	3	0.051
7#	3.5	0.081
8#	4	0.062
9#	4.5	0.097
10#	5	0.074
11#	5.5	0.097
12#	6	0.086

3 立式储罐变形位置定位及评估

根据储罐点云图真彩色图像显示,找出变形位置见图3,进行切片处理,找出储罐,某一部位的变形情况,计算变形量。根据变形位置局部选取0到2.1 m高度点云进行计算,计算结果见表5。切片最大径向偏差均超出标准SY/T 5921—2017《立式圆筒形钢制焊接油罐操作维护修理规程》要求,最大倾斜度位于0.9 m处,倾斜度0.177°,倾斜度未超出标准JJG 168—2018《立式金属罐容量检定规程》规定的1°。

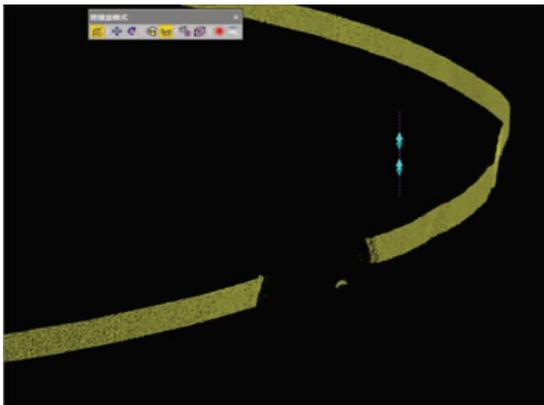


图3 储罐局部变形位置定位(缺口为人孔位置)

对比局部计算结果表5和表2、表4,可以发现,基于三维激光扫描的大量点云数据可以更精确的计算储罐某一部位的变形情况。而储罐的总体切片不

能精确反映局部的变形情况。

表5 储罐局部变形量情况

高度/m	最大径向偏差/mm	相对0 m处切片的倾斜度/°
0	40.83	/
0.3	51.63	0.122
0.6	43.39	0.105
0.9	49.61	0.177
1.2	50.56	0.153
1.5	49.21	0.090
1.8	48.06	0.111
2.1	50.3	0.104

4 结束语

利用三维激光扫描技术,获取储罐罐壁点云数据,实现储罐的实景再现。通过储罐的反射强度色阶图,可以快速定位储罐的变形位置,通过变形位置的切片导出点云数据,可以精确计算变形位置的径向偏差、倾斜度等参数,判断储罐是否满足标准要求,为大型储罐的变形检测提供了一种新的技术手段。

三维激光扫描技术作为一项新技术应用于储罐变形检测,但是还没有相关的标准可以借鉴,因此,亟待研究三维激光扫描技术在储罐变形评估中的标准规范。

参考文献

- [1] WU T Y, LIU G R. Comparison of design methods for a tank-bottom annular plate and concrete ringwall [J]. International journal of pressure vessels and piping, 2000, 77(9): 511-517.
- [2] 王令文,程效军,万程辉.基于三维激光扫描技术的隧道检测技术研究[J].工程勘察,2013,41(7):53-57.
- [3] 董秀军.三维激光扫描技术及其工程应用研究[D].成都:成都理工大学,2007:72.
- [4] 中国石油天然气股份有限公司管道分公司,中国石油管道局工程有限公司,中国石化管道储运有限公司,等.立式圆筒形钢制焊接油罐操作维护修理规程:SY/T 5921—2017[S].北京:中国标准出版社,2017.
- [5] 刘子勇,佟明星,王丁.立式金属罐容量检定规程:JJG 168—2018[S].北京:中国标准出版社,2018.

(收稿日期 2019-06-05)

(编辑 王蕊)