

三维激光扫描技术在大型储罐安全检测中的应用

何鑫业^{1,2} 文 胜³ 王蔚琳³

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

(2. 化学工业设备质量监督检验中心, 江苏 南京 210024)

(3. 中国石油天然气股份有限公司西北销售兰州分公司, 甘肃 兰州 730000)

摘 要: 为了在大型储罐安全检验工作流程的优化过程中, 建立起一套完整的大型储罐安全评估体系。而将三维激光扫描技术用于大型储罐的安全检测, 可以很好地解决罐体点云数据分析困难、检测效果差等问题。为此, 本文就大型储罐安全检查中采用的三维扫描技术进行了深入的探讨, 从而确定了其在储罐变形监测和安全性能分析方面的实用价值。

关键词: 大型储罐; 安全检测; 三维; 激光扫描

目前, 我国现有的大型油库约有七千多个, 单个油库最多可达 15 万 m^3 。但是, 大型储罐的危害也很大, 一旦发生泄漏或爆炸, 不但会给人类生命和财产带来极大的危害, 而且对环境也会产生很大的影响。近年来, 国内外对大型储罐的安全事故时有发生。目前, 大型储罐的安全监控现状不容乐观, 因此, 应加强对大型储罐的安全监控工作, 以寻求一条新途径, 使大型储罐的安全监控更为可靠。目前, 针对大容量储罐的安全校核, 存在着劳动强度大、容易产生误差、费时等问题。大型罐体的检验, 直接关系到储罐的容积测量精度, 也关系到储罐企业的生命和生产的安全。因此, 对立式储罐进行安全检查的新方法的研究就显得尤为重要。大型的储罐占地面积很大, 设备也很庞大, 里面的管道和管道也很复杂, 所以在检查的过程中, 我们必须要做好保护措施, 确保自己的安全。传统的测量方法效率不高, 而且测量结果有很大的误差, 而我们现在采用的是三维激光扫描技术, 它不需要与容器直接接触, 就能得到准确的测量结果。

1 大型储罐安全检测相关概述

三维激光扫描仪是一种先进的技术, 它能对大型储罐的三维坐标进行快速测量, 并对其变形和沉降进行评价。例如, 在储罐沉陷探测中, 利用三维激光扫描仪可以对储罐底部剖面、失圆度、垂直剖面等进行测量, 从而形成储罐沉降监测报告。另外, 在三维激光扫描技术的应用上, 实现了对大型储罐的安全检查由手工检验向远程检查的转变, 从而降低了人为因素的影响, 提高了安全检查的工作效率。

2 三维激光扫描技术的检测原理及分类分析

2.1 三维激光扫描技术的检测原理

三维激光扫描器的结构主要包括两个部分: 一是高精度的激光测距器, 另一部分是具有均匀角度速度和能导向激光的反射棱镜。激光测距机根据所发出的激光及所反射的讯号, 来进行测距, 藉由测距, 便可求出各检测站与各检测点间的倾角, 再加上扫描器要测横、竖向角, 并将二者合并, 取得测台与扫描点的相对空间座标。只要确定了观测站的空间坐标, 就可以用数学方法求出各扫描点的空间坐标。就拿天宝 TX8 型激光扫描仪来说, 它是用一面镜子在纵向上扫描, 而在横向上, 用伺服电机带动机器旋转, 实现 360° 的横向扫描, 最后得到扫描点的空间坐标。这种扫描器能在 3min 内进行一次测量, 并且能在 120m 的距离内保持很高的准确度, 而且系统的误差不超过 2mm。

三维激光扫描技术, 也就是所谓的“虚拟现实技术”, 是一种新兴的技术。激光测距技术是三维激光扫描技术的基础, 它能对大型储罐的立体和平面图像进行全方位的记录。三维激光扫描仪是大型储罐安全检测中的重要设备, 它包括反射棱镜和激光测距仪, 具有扫描均匀, 测量精度高, 检测灵活等优点。另外, 相对于常规的安全检查技术, 三维激光扫描技术具有显著的技术优势: 第一, 无接触, 数据采集的自动化。由于采用了快速测量技术, 可以实现对大型储罐的坐标进行非接触式的测量, 从而避免了储罐在安全检查中的接触损坏。此外, 在大型储罐的安全检查中, 三维扫描系统可以实现对储罐的数据采集和分析, 并产生相应的数字信

号。第二,速度快。利用这种技术,利用三维激光扫描技术,利用网格、点阵式的数据采集技术,可以实现对大容量容器的点云进行自动聚焦,并对其进行快速的数据采集。第三,实时性。利用三维激光扫描技术,不需要借助任何外源,就可以实现对大型储罐的空间坐标测量,实现了对大型储罐的安全探测。

2.2 三维激光扫描系统的分类

三维激光扫描技术从最初的测量工业发展到后来的考古、地质、工业等诸多领域。其主要作用是测量形变、大型建筑数据的获取和三维成像。针对不同的产业需要,开发了具有各自特点的3D扫描器,并根据激光扫描器的空间布置和工作平台的角度进行了细分:

2.2.1 大型机载扫描系统(ALSS)

DGPS可以为仪器在进行空间位置和数据采集时所需的三维空间坐标。惯性导航系统在获取数据时,先确定三维激光扫描器与扫描对象之间的距离,然后用计算机进行分析,得出点云的具体位置。航空三维扫描仪是一种广泛应用于地形图测量和城市规划等大规模的地面工程测量工作。

2.2.2 地面激光扫描系统

根据应用的不同,地面三维激光扫描仪可以分为移动和固定两类。移动扫描器又称作车载扫描器,因为其应用范围较广,故又称地面三维激光扫描器。移动扫描仪通常适用于条形地形测量和需要快速扫描的现场。它以汽车为基础,扫描范围为50m,扫描角度为0~180度,与地面激光扫描相比,具有快速、高效的特点。一套便携式激光扫描仪的售价在五百万元左右。固定激光扫描器通常是采用3D激光扫描器与高像素数字照相机组成,三维激光扫描仪可以采集点云资料进行后期处理,而数字照相机则可以在3D图像采集后,为现场提供更为逼真的3D模型。

2.2.3 手持式激光扫描系统

手持式激光扫描器是一种能够实现对小型目标进行短程测量的便携装置,它通过与电脑的实时连接,将实时的3D影像显示在点云数据处理软件中,并能准确地获取被测对象的长度、体积等数据。它广泛应用于各种小型精密机械测量建模、三维游戏人物制作、产品质量检测等。利用扫描原理和使用方法,可以寻找适合于大型圆顶油气缸的三维激光扫描仪,以防止由于设备选用不当而产生的无意义的误差。

3 大型储罐安全检测中三维激光扫描技术的应用

在实际应用中,要依据扫描目标和扫描需求,进行相应的后处理。虽然各公司的点云数据处理软件都不一样,但大部分公司都有自己的点云处理软件,比如Riegl的Riscan PRO,美国Trimble的Pointscape, FARO的点云数据处理软件,虽然各公司开发的点云数据处理软件的方法不尽相同,但是大部分的软件在处理过程上都是大同小异的。利用点云数据处理软件,可以对点云进行预处理和后处理,从而获得与试验所要求的一致试验结果。三维激光扫描器是一种有机的三维激光扫描器,它应用于大型储罐的安全检测,包括外业数据的收集、数据的处理以及安全检测数据的分析。

3.1 收集外部资料

为了保证扫描结果的可靠性,检测者可以在仪器的操作界面上分别选择目标,然后对点云进行数据的完整性进行检查,如果有遗漏的地方,则需要再进行扫描。

3.2 数据的处理

通过野外现场采集大型油库的安全测试资料,利用点云技术进行数据预处理。一方面,点云资料中存在的噪声点需要被测试者及时排除。在采集大型储罐的原始资料时,由于罐体空间中存在着大量的坐标系统,因此,必须对这些数据进行消除,以确保测量结果的有效性。另一方面是完成点云资料的登记。其中,通过对储罐内各个坐标进行汇总,形成一个统一的坐标体系,保证了储罐的空间信息体系。具体而言,由检测者根据处理软件的辨识功能,对各个测点重叠的区域、相同的控制点进行资料配准,取得了中心坐标后,再以基准点为通道,将有关点云资料的位置变换为统一的坐标系统。

3.3 对安全检测的资料进行了分析

以大型储罐的变形资料为实例。当储罐发生变形时,三维扫描得到的圆心会发生很大的变化,通过对每一组数据进行分析,由安全检验员根据圆心、直线和圆心的坐标来确定罐体的倾角。

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

在此基础上, θ_i 主要表示一个切片的倾角,而 x_i 、 x_0 、 y_i 、 y_0 为切片中心坐标, ΔH 为罐体圈板、切片间距,当确定罐体倾角后,由检验人员按照有关规范中的倾角不超过1度的标准,对该指标进行评定。通过三维激光扫描,探测到储罐顶部的沉降和变形,通过点云图可以确定储罐的异常部位,并

对储罐的整体变形进行分析, 从而对大型储罐的安全检查进行全面的反映。

4 实例应用

4.1 工程项目概况

本工程旨在对宁波某灌区大型石油储罐进行安全检验。检测方法主要有: 储罐圈板椭圆度检测、板料凹凸度检测、半径检测、倾斜检测。

4.2 三维激光扫描仪外业数据采集流程

在实施具体的工作之前, 一定要做好充分的准备工作。第一, 要进行现场调查, 了解整个扫描区域的状况, 然后根据测量的准确度, 确定扫描器和被测物体的间距, 从而分割出不同的工作区域。首先, 要确保设备的稳定性和安全性; 第二, 可以最大限度地探测到目标, 同时确保测量的准确度; 第三, 为保证点云数据的两个站之间的目标在各自的扫描站中是清楚的, 在进行多个站点的测量时, 必须保证两个站点的重叠。两个站点的数据融合都是以目标为基础的, 如果处理不当, 不但会影响到目标的数量, 而且还会影响到数据的准确性, 所以在实际测量中, 选择合适的目标是非常重要的。通常所用的靶子是三天或更多的, 并且放在两个地点都能看到的地方。在设置目标时, 要小心, 不要将他们排成一条直线, 并且要根据测量的精确度, 将扫描器与目标之间的距离调节。第四, 依据调查结果绘制扫描方案, 确定目标及扫描地点的定位。

完成野外数据采集后, 先将激光三维扫描仪安装到预定的位置, 安装好球形靶子, 稳定扫描仪和靶子, 激活扫描仪, 调整设备, 完成校正和校准。按测量精度设定有关的仪器参数, 完成扫描后, 分别框选目标, 确保目标的扫描准确度; 扫描完毕后, 将采集到的点云进行检测, 如果有遗漏, 则进行补点, 扫描完毕后, 将目标放在第二个站点和第三站点的公用区域, 如此反复, 直到全部扫描完毕。

4.3 点云数据预处理

收集完毕后, 我们要利用天宝 Realwork 对点云进行预处理。整个流程包括: 点云数据的噪声消除和点云的数据匹配。由于原位测量资料为多个坐标系中的块状集合, 故必须对各观测站的资料进行资料配准, 以获取罐体整体的空间资讯。数据配准是一种将不同坐标系内的空间坐标变换为同一坐标系的一种数学转化过程。在实际应用中, 通常采用的是基于多个站点的交迭面积配准和基于公共控制点的配准。在数据处理时, 利用软件本身的目标识别能力, 利用该系统对目标进行中心坐标

信息的提取, 再将点云数据转化为一个统一的坐标系。激光扫描器在进行扫描和测量时, 会将罐子的附件和周围的许多不相关的点都记录下来, 这大大提高了数据量。此外, 由于不同的入射角、不同材质造成的折射、重复扫描等因素, 会造成不同程度的“飞点”及冗余, 因此, 在进行数据分析前, 要消除点云中的杂讯。

4.4 安全检测相关工作

该测试的基础圆是在第一圈壁的底端上方 200mm 处, 抽取的剖面是在每个圈板的 1/4 和 3/4 处, 由剖面上的土块的上、下两个点来拟合圆心和圆心, 用 Trimble Real works 中的平面裁切工具和曲线拟合工具。切面时, 确定与 Z 轴线相垂直的平面为切平面, 在每个环板的四分之一和四分之三处进行切割, 切面的厚度要适当, 厚度设定过大会导致拟合的圆心位置不准确, 厚度设置太小会使切割的平面点数太少, 不能满足后续计算的要求, 参数设置完成后, 创建要切割的平面, 利用该平面上的点拟合剖面圆心, 然后在每圈剖面数千个点中平均抽取 48 个对径的点, 并按其坐标和中心坐标, 求出相应的半径。得到不同的环板半径值后, 把半径值输入 Excel 表格, 把计算公式输入到 Excel 表格中, 就可以得到环板的半椭圆度、壁凹凸性、槽倾角。

5 结语

总之, 三维激光扫描仪用于大型储罐的安全测试, 主要是根据这一技术的基本原理, 或者采用三维激光扫描仪对大型储罐进行点云的采集。同时, 通过点云数据的采集, 对罐体倾斜度、变形、罐壁沉降等关键技术进行了分析, 其中, 采用三维激光扫描仪进行大型储罐安全检查的实际应用, 其优点是: 缩短了储罐的安全检查周期, 提高了检验效率, 确保了储罐的安全测试数据准确性。同时, 本技术的运用, 也为企业的发展和国内的工业标准的制订, 提供了一个精确、可靠的罐体检验方法。

参考文献:

- [1] 张昱涵, 赵永涛, 关国伟, 等. 大型储罐安全检测中三维激光扫描技术的应用[J]. 中国设备工程, 2020(20):168-170.
- [2] 刘春晓, 邵为真, 邵帅, 等. 三维激光扫描技术在大型储罐安全检测中的应用[J]. 北京测绘, 2017(1):133-136.

作者简介:

何鑫业(1988-), 男, 中共党员, 目前从事特种设备检验检测及理化检验工作。