

基于三维激光扫描的精确三维模型 重建在中海油装备技术运维数字化中的应用

石宝山（中海油能源发展装备技术有限公司，天津 300450）

摘要：三维激光扫描技术又被称为实景复制技术，它采用非接触式高速激光测量，以获取研究目标的三维坐标和数码照片的方式，快速高效的得到目标的三维立体信息。本文通过分析三维激光扫描系统获取的点云数据，并对原始测量的点云数据进行处理，得到正确的物体表面信息，然后再通过三维拓扑建立三维表面模型，通过进行纹理映射实现现有三维实物可视化模型重建。

关键词：三维激光扫描；虚拟现实；点云数据；三维建模

近些年三维激光技术的快速发展显著提升了三维空间信息的获取能力，积极推动了信息数字化发展。随着三维激光扫描测量技术的不断发展，以及相关软硬件设备的不断进步，三维激光扫描技术目前已经成功应用于社会的多个领域。由于三维激光扫描技术有着广阔的应用前景和较大的消费市场，但国内对于它的研究目前还比较薄弱，为了使该项技术能更好的为我国的经济建设服务，同时拥有自己独立产权的软件。进行三维激光扫描理论与技术的研究具有十分重要的科研价值和现实意义。

1 三维激光扫描工作原理

三维激光扫描的核心为激光测距技术，通过激光测距能够实现对被扫描物体的整体描述，从而可以重建被测物体的三维模型。激光测距的主要原理是利用照明光源来有效提取被测物体的几何信息，光平面在照射在被测物体表面之后会生成相应的光条纹，通过对这些光条纹的形态、间断性等进行分析判断，便可以实现被测物体表面与三维激光扫描相机之间的相对测度。三维激光扫描的优点在于扫描速度快，扫描精度高，并且可以有效降低计算复杂性，因此目前在工业生产中得到了广泛应用。

在具体扫描过程中，激光扫描仪上的两个立体相机分别对被测物体开展立体测量，基于目标点库中预设的对应点应用最小二乘法完成坐标的转换，实现扫描定向。由激光扫描仪上的两个立体相机同时测量被投射到被测物体表面的激光点云，采集得到统一坐标系下的点云数据。

2 三维激光扫描系统工作流程

本文研究的是中海油装备技术公司的高压注水泵，应用 RIGELSCAN 三维扫描仪随机附带软件 Rigel Scam 4.6.9.0 控制扫描过程。

2.1 激光扫描仪校准

在开展扫描之前首先要进行校准处理。首先进行几何校正，其主要目的是明确激光扫描仪两个数码相机的相对方向，有助于及时发现运输过程中仪器受到外部

环境影响而产生的微小变化。几何校正采用几何校正控制板来实现，如图 1 所示。



图 1 几何校正控制板



图 2 目标点布设

辐射校正主要是指通过调整相机摄影参数和激光强度来改善激光扫描仪的测量速度。首先获取被测物体某些部分的共同纹理数据，数据的色彩和亮度需要达到相应的规范要求。为了保障获取数据质量要提前确定参考系统，将直径 6mm 大小的目标点排成间距为 10cm 的网格，并布设在物体上，如图 2 所示。应用两个独立相机测量出目标点位置，形成由目标点构成的参考系统。最后将包括物体的框域划分为体素，这从根本上决定了扫描的分辨率，框域越小分辨率越高。

2.2 扫描目标表面处理

有些工业构件表面对激光反射较强，抑或颜色较暗，使得直接扫描比较困难，此时需要对构件着色，增强构件表面的漫反射，便于扫描仪更好地扫描出目标的三维

特征。着色剂的喷施要保障均匀,同时厚度适中。厚度过薄会影响点云数据的完整性,厚度过厚会影响细节特征。手持式三维激光扫描仪一般具有自定位功能,无需其他外部跟踪装置即可自动拼接完成扫描工作,而这主要通过工业构件表面粘贴定位靶标来实现。对于常规尺寸的工业构件,可在各个面上直接粘贴定位靶标,以满足扫描仪完成全方位扫描的要求。若工业构件不能贴足够的定位靶标,则需要增加辅助板面来完成扫描工作,即在辅助板面上按照规则均匀贴满定位靶标再通过手持式三维激光扫描仪对构件进行全方位的扫描。

之后便可以对物体进行扫描,操作人员首先要合理控制扫描仪和物体之间的距离适中,然后通过电脑对三维物体表面模型进行实时显示。测量时通过之前布设的目标电位进行定位,保障扫描数据质量,扫描过程如图3所示。最终得到的扫描数据包括目标点位置数据、扫描物体点云数据、STL格式三维模型数据。

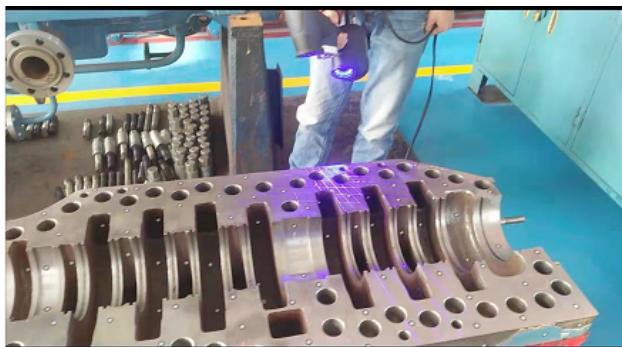


图3 数据采集

2.3 点云处理和模型拓扑

扫描得到的原始点云数据,需要首先经过点云数据处理,才能在其基础上进行相应的构件质量检测。目前主流的手持式三维激光扫描仪均能够实现点云的自动拼接,无需后期手动拼接,即对构件表面扫描完成之后,系统能够自动生成构件的三维点云图形。但为了得到完整的、高质量的、可用的点云数据,还需对点云数据进行过滤、去噪、平滑、精简,删除体外孤点以及填补孔洞等操作。如果被扫描物体尺寸较大,或者对于扫描精度具有较高的要求,在扫描结束后还需要进行数据匹配,才可以生成最终的三维实物模型。点云数据处理完成之后,为了与通用的三维软件进行对接,有时还需要进行数据转化操作。

为使扫描的模型进行更好的利用,需要对模型进行轻量化处理即模型拓扑,好的拓扑结构可以使制作的动画效果更好结构合理的模型,再受到挤压变形的时候,能呈现出更好的模型效果。拓扑结构好的模型,便于进行修改,对于增加一些细节以及对某些面进行修改时效率较高。布线差的模型在增加细节时需要增加修改线来实现,特别是对于一些结构较为复杂的模型,修改效率较低。重拓扑有助于贴图绘制更加快捷,如果模型面不同区域具有不同的密度,会显著增加工作复杂性,这时

采用重拓扑模型有助于提升材质贴图制作效率和效果。

3 案例分析

本案例使用 Handy SCAN 700 手持式三维激光扫描仪如图4所示,主要应用于工业构件质量检测及要求比较严格的逆向工程中,其扫描区域为 $275 \times 250 \text{mm}$,测量速率为 480000 次/秒,分辨率最高为 0.05mm,精度最高为 0.03mm。

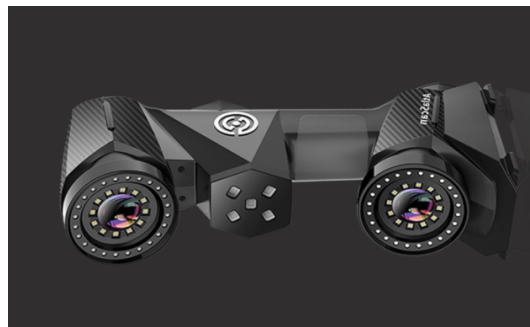
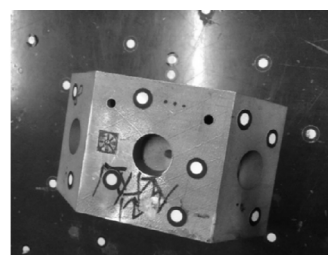


图4 手持式三维激光扫描仪

在利用手持式三维激光扫描仪对构件进行扫描之前,构建了稳定的工作平台,在平整的桌面上随机粘贴上专用的圆形定位靶标,如图5(a)所示,同时为待测工件贴上定位靶标,如图5(b)所示,在工件表面粘贴圆形靶标时尽量保证其不在一条直线上。所粘贴的定位靶标主要用来辅助扫描仪自动拼接生成三维模型。



(a) 贴上靶标的工作平台



(b) 贴上靶标的待测工件

图5 扫描准备工作

准备工作完成之后,利用设备自带的软件辅助数据采集进行实时三维建模。在软件中首先对手持激光扫描仪的相关参数(如快门、解析度等)进行调整,初步扫描采用多线模式,通过软件实时查看扫描的工件结果,对圆孔内表面等细节则尽可能地采集更多的点,如仍有部分位置孔洞较大,可换用单线激光模式补充测量。最终扫描得到的工件的三维模型如图6所示。

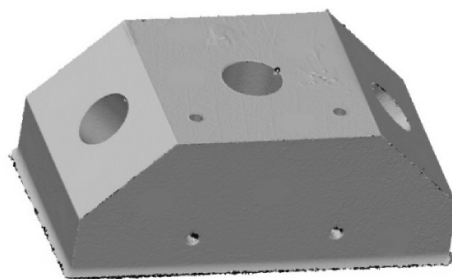


图6 扫描得到的工件
通过扫描得到工件的三维点云数据(下转第92页)

Texas, USA.

- [5] Altman R, et al. Understanding the Impact of Channel Fracturing in the Eagle Ford Shale through Reservoir Simulation[C]. The SPE Latin American and Caribbean Petroleum Engineering Conference. 16-18 April 2012, Mexico City, Mexico.
- [6] 刘平礼, 李珍明, 宋雨纯, 等. 通道压裂过程中主裂缝支撑剂铺置影响因素实验研究 [J]. 油气藏评价与开发, 2018, 8(05): 42-47+55.
- [7] 贾光亮, 李晔旻, 郑道明. 大牛地气田纤维脉冲加砂压裂工艺技术研究及应用 [J]. 复杂油气藏, 2018, 11(03): 77-80.
- [8] 陈星宇, 何昀宾, 何封, 等. 非连续铺砂裂缝动态闭合实验 [J]. 断块油气田, 2018, 25(03): 398-403.
- [9] 卢聪, 陈滔, 毕曼, 等. 通道压裂中顶液脉冲时间优化模型研究 [J]. 油气地质与采收率, 2018, 25(02): 115-120.
- [10] 苏国辉, 高伟, 李达, 等. 致密砂岩气藏脉冲纤维加砂压裂工艺参数优化 [J]. 钻采工艺, 2018, 41(01): 46-

48+4.

- [11] 杜现飞, 张翔, 唐梅荣, 等. 薄互层定点多级脉冲式压裂技术研究 [J]. 钻采工艺, 2018, 41(01): 65-68+5-6.
- [12] 李凌川, 张永春, 李月丽. 脉冲加砂压裂支撑剂铺置状态的 CFD 模拟 [J]. 长江大学学报 (自科版), 2017, 14(19): 90-96+120-121.
- [13] 郭建春, 马健, 张涛, 等. 通道压裂中流动通道形态影响因素实验研究 [J]. 油气地质与采收率, 2017, 24(05): 115-119+126.
- [14] 戚斌, 杨衍东, 任山, 等. 脉冲柱塞加砂压裂新工艺及其在川西地区的先导试验 [J]. 天然气工业, 2015, 35(01): 67-73.

作者简介:

郭淑芬 (1974-), 工程师, 1996 年毕业于中国地质大学 (武汉) 计算机及应用专业, 获学士学位, 现从事压裂酸化技术研究和科技管理工作。

基金项目: 中石化重大科技攻关项目 “川西须五砂页岩气藏开发关键工艺技术研究” (JP14006)

(上接第 89 页) 后, 导入三维数据处理软件 Polyworks 中进行相关特征的创建及数据测量工作。在 Polyworks 中为生成的工件模型创建 3 个相邻的平面特征建立坐标系, 对于工件表面的圆孔特征数据通过其内表面点进行圆柱拟合创建圆柱特征, 从而可以得到圆孔的直径信息。对于圆孔的空间位置, 选择各圆孔所在工件平面上的点拟合平面特征, 然后由拟合的圆柱的中轴线跟平面相交得到该圆孔表面圆的圆心坐标, 得到对应的表面圆孔特征测量数据。

表 1 表面圆孔特征测量数据

圆孔编号	拟合直径	千分尺测得直径	X	Y	Z
圆孔 1	22.075	22.063	-38.577	42.917	-16.887
圆孔 2	22.154	22.162	-38.297	58.672	-71.052
圆孔 3	22.114	22.115	-38.236	43.337	-125.383
圆孔 4	4.831	4.845	0.304	15.217	-44.199
圆孔 5	4.389	4.388	0.543	15.2	-98.409
圆孔 6	4.812	4.804	-77.779	15.946	-98.474
圆孔 7	4.932	4.942	-77.826	15.785	-44.198
圆孔 8	4.98	4.962	-15.285	58.425	-43.935
圆孔 9	5.006	5.021	-15.135	58.619	-98.132

为了检验点云数据拟合计算得到的圆孔直径的精度, 利用千分尺 (精度 0.01mm) 对工件表面各圆孔的直径进行了实际测量, 其测量结果见表 1, x、y、z 为各圆柱对应圆孔表面圆的圆心坐标。通过对比, 点云数据拟合得到的各圆孔的直径与千分尺测量得到的直径之差均保持在 0.02mm 以内, 验证了利用手持式三维激光扫描仪获取工件的特征数据的精度。同时, 若有该工件的设计模型数据, 则可通过公共点将点云数据拟合得到各圆孔表面圆的圆心坐标转换到设计坐标系下, 对工件的空间位置等信息进一步进行检测。

4 结语

综上所述, 三维激光扫描技术可以获得高精度扫描数据, 同时可以获得被扫描物体的色彩信息。如果对于纹理细节要求不高, 可以采用点云色彩信息直接生成纹理贴图。三维激光扫描技术通过采集 STL 数据可以直接生成 STL 三角网格面, 能够实现对结构复杂以及纹理多样物体的扫描。同时三维激光扫描技术操作简单方便, 在未来具有广阔发展前景。

参考文献:

- [1] 陈俊英, 夏宝莹, 谷丰恺, 等. 三维激光扫描技术在海洋石油生产中的应用分析 [J]. 中国造船, 2012, 53(S2): 347-354.
- [2] 罗建, 孙德鸿, 蒋涛. 三维激光扫描在自升式钻井平台桩腿变形测量中的应用 [J]. 测绘通报, 2013(05): 50-53.
- [3] 饶毅, 徐丙立. 基于三维激光扫描的快速建模方法研究 [J]. 电脑与信息技术, 2017, 25(01): 8-10.
- [4] 于明旭. 提高三维激光扫描点云数据配准精度研究 [J]. 测绘与空间地理信息, 2020, 43(05): 47-50+55.