

文章编号:0494-0911(2012)02-0094-03

中图分类号:P234.5

文献标识码:B

# 利用三维激光扫描技术进行工业设备三维重建及变形分析

王延亮<sup>1</sup>,夏国芳<sup>2</sup>,胡春梅<sup>3</sup>

(1. 黑龙江工程学院 测绘与 GIS 工程技术研究所,黑龙江 哈尔滨 150050; 2. 建设综合勘察研究设计院有限公司,北京 100007; 3. 武汉大学 测绘遥感信息工程国家重点实验室,湖北 武汉 430079)

## Industrial Equipment 3D Reconstruction Based on 3D Laser Scanning Technology and Its Deformation Analysis

WANG Yanliang, XIA Guofang, HU Chunmei

**摘要:**提出一种应用三维激光扫描技术对大型复杂工业设备通过三维重建进行变形监测的新方法。首先,应用三维激光扫描仪对工厂设备进行扫描,把扫描得到的多站数据进行拼接,得到完整的点云模型;然后应用三维重建软件对点云模型进行三维实体模型重建。最后,应用三维重建模型和点云模型制作出检测位置的剖面图和平面图,通过与原始数据的对比,检测工业设备的沉降和变形情况。

**关键词:**点云模型;三维表面模型;剖面图;工业设备;变形监测

### 一、引言

近几年,三维激光扫描技术在古建筑保护、文物保护<sup>[1]</sup>、大型精密工程的测绘和监测<sup>[2]</sup>等方面得到了广泛应用。在古建筑保护方面,应用三维激光扫描技术可以记录古建筑的表面三维坐标,建立其结构模型,得到指定位置的平面图、立面图、剖面图,进而实现变形观测;在文物保护领域,通过三维激光扫描可以得到文物的病害情况,对修缮文物提供精确的定量数据,还可对文物进行实物再现和复制。对于一些大型的历史遗迹,比如佛雕石窟,可以应用三维激光扫描建立其三维档案;在大型精密工程的施工过程中,可以应用三维激光扫描技术来计算土方量、监测质量以及竣工后的变形监测等。

三维激光扫描技术的另一个主要应用是在工业方面,目前在国内应用较少。在工业领域,传统的测绘技术在大型工业设备的监测、维修和改扩建等工程项目中实施比较困难,三维激光扫描技术的特点恰好可以满足其需要。本文提出了应用三维激光扫描技术解决工业方面问题的方法,即:首先通过非接触高精度快速的三维激光扫描得到复杂设备的表面点云模型,然后通过逆向工程的三维建模得到精度高于点云的三维表面模型,最后通过对三维模型的剖切得到指定位置的剖面图。这样可

以对设备的位置进行量测,得到变形数据来指导维修。而且三维模型还可以指导改扩建项目的三维设计。

### 二、工业设备的三维数据获取和重建

#### 1. 控制测量

因为最终得到的数据要存档于总图中,并且变形分析还需要和原始数据进行比较,因此在进行扫描前要对扫描对象进行控制测量,才能把扫描得到的点云数据纳入厂区坐标系。首先根据厂区的现状设置控制点,应用全站仪进行控制测量,然后与原有的控制点进行联测得到厂区坐标系下的控制点坐标。

#### 2. 工业设备的三维点云数据获取和拼接

首先对被扫描对象进行分析,根据对象的大小和形状确定扫描站点数。因为地面激光雷达是获取被扫描物体表面的数据,所以每个扫描站只能得到通视部分表面数据,要经过连续的有重叠的扫描站点的拼接才能得到完整的点云数据<sup>[3,4]</sup>。再根据变形监测精度的要求设置扫描分辨率,设置好扫描范围和精度后即可进行扫描。本文使用了徕卡 Scanstation 2 扫描仪,该扫描仪的扫描精度是徕卡系列扫描仪中最高的一种。为了扫描后的数据拼接,在每站要设置标靶,两站之间必须要保持有 4 个标靶点的重合,并且在控制点上也要放上标靶,这样才能完

收稿日期:2011-11-24

基金项目:黑龙江省教育厅重点科技项目(11551z012)

作者简介:王延亮(1954—),男,上海人,教授,主要研究方向为地图学与 GIS。

成点云模型的坐标转换。将采集好的点云数据应用三维拼接软件进行拼接,本文采用了徕卡公司的 Cyclone软件,该软件可根据标靶点、特征线、特征面和点云实现点云的拼接,生成完整的点云模型。图1为某化工厂露天设备三维点云模型的一部分。

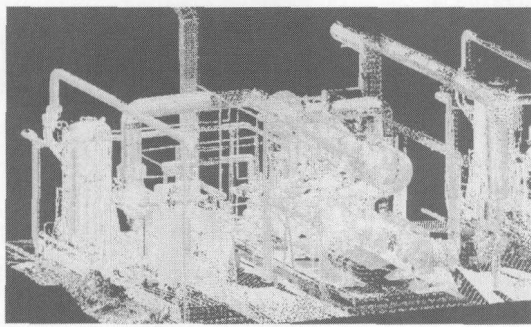


图1 某化工厂露天设备三维点云模型

### 3. 三维重建

因为三维表面模型是经过点云模型拟合出来的,精度要高于点云模型,所以剖面图要基于三维表面模型制作。点云模型三维重建的逆向工程软件很多,本文采用了 Cyclone<sup>[5,6]</sup>。首先打开完整的点云数据,通过手工去除多余的数据。Cyclone 提供了多种三维重建,如区域增长法、局部拟合法等,工业部件大多数都以圆管、方管、长方体、球体等组成,在点云完整的地方,可以应用区域增长法让软件自动寻找标准几何体的边缘从而生成相应的规则几何体,对于边界模糊的点云要先进行分割。然后通过区域拟合法来得到相应的三维表面模型<sup>[7]</sup>。图2为某化工厂露天设备的三维表面模型。

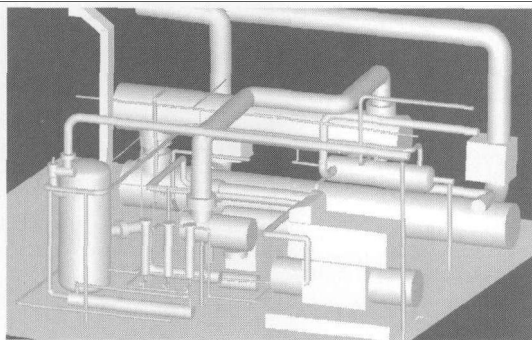


图2 某化工厂露天设备的三维表面模型

## 三、剖面图的制作和变形监测

大型复杂的工业设备经过多年的使用会产生变形,需要及时监测出变形情况才能进行维修,从而保障生产的安全<sup>[8]</sup>。然而由于很多大型设备的形状复杂,很难进行监测,并且用传统方法测量具有

危险性,这是工业领域变形监测的瓶颈问题<sup>[9-10]</sup>。本文应用非接触式三维激光扫描建模,最后通过对任意位置的剖切实现了对大型复杂工业设备变形监测。

### 1. 应用三维表面模型生成剖面图

重建的三维表面模型可以多种格式进行保存,主要是以 DXF 格式存储。因为之前进行了控制测量,模型已经纳入了厂区坐标系,所以前后、左右、上下6个方向的视图皆为正视图,这样方便于剖面的提取。根据要求,可以在选定的位置进行剖切。

目前有很多三维逆向工程软件均可对三维表面模型进行剖切,比如 Geomagic、Polyworks、Imageware 等,本文采用 Geomagic 软件。应用 Geomagic 软件生成剖面的过程为:

1) 导入重建的三维表面模型,通过三维视图显示需要的视图方向。

2) 选择多边形工具栏的选择截面曲线功能,设置截面位置、曲线属性等相应的参数;设置截面类型为平面,通常选择系统平面,也可以选择所需要的任意相对参考面为截面位置的参考平面,必要时还可以指定旋转和平移参数。如果要做多重截面,可设置多重截面的个数和间距。

3) 要设置生成曲线的性质,包括曲线的名称、生成曲线的折角、拟合的方式和张力等。

本文根据试验数据,使用的是工业坐标系的水平平面,这样有利于与原始数据进行比较。再根据工业设备的总图,对该设备做了多重截面。图3是多重界面截图的三维显示。将截图得到的曲线数据按照一定的格式保存,导入到 CAD,经过面图修饰生成剖面图,比例为 1:1(如图4所示)。因为剖面是从三维模型上截取出来的,所以此剖面图的坐标为三维坐标。

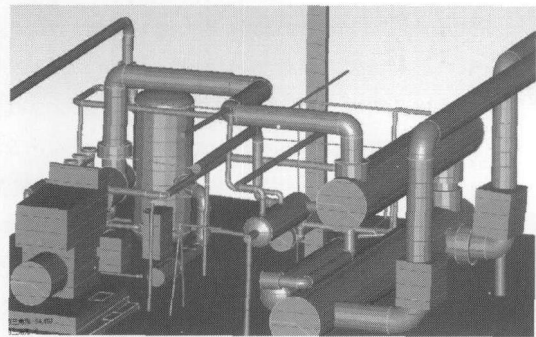


图3 多重界面截图的三维显示

### 2. 工业设备的变形分析

生成监测位置的剖面图后,用户可以根据需要量测相应位置的三维坐标。根据两组不同时期的

监测位置的数据,比较被检测设备某个点或者某个部件的变形情况,以决定是否对设备进行维修或更换。同时,该变形数据还可以作为改扩建项目设计的参考数据,以免出现碰撞等问题。

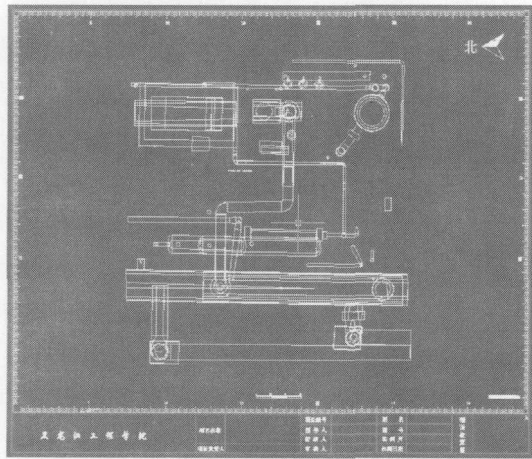


图4 ACAD 格式的剖面图

#### 四、结束语

本文将三维激光扫描、三维表面模型重建和剖面生成技术应用于大型复杂工业设备的变形分析领域中,成功地解决了这些设备建模和变形监测的难题,具有一定的现实意义和应用价值。从文中的实例可以看出,应用点云模型重建表面模型可以提高精度,选择任意对三维表面模型进行剖切,生成的剖面图能准确反映设备关键部位的位移和形变。采用本文的技术方法可以高效、方便、安全地对大型复杂工业设备进行变形监测,同时还大大节省了

人力和物力,具有一定的可行性和优越性。

#### 参考文献:

- [1] 王晏民,郭明,王国利,等. 利用激光雷达技术制作古建筑正射影像图[J]. 北京建筑工程学院学报, 2006, 22(4):19-22.
- [2] 王晏民,王国利. 激光雷达国家体育馆屋顶钢结构安装滑移质量监测[J]. 工程勘察, 2009, 37(12): 17-21.
- [3] 沈彦文,宋益民. 三维激光扫描仪在石灰回转窑形变测量中的应用[J]. 冶金设备, 2009(5):71-73.
- [4] 吴敏,周来水,王占东,等. 测量点云数据的多视拼合技术研究[J]. 南京航空航天大学学报, 2003, 35(5): 552-557.
- [5] 刘春,杨伟. 三维激光扫描对构筑物的采集和空间建模[J]. 工程勘察, 2006(4):49-53.
- [6] HU Chunmei, ZHOU Qiusheng, YU Wentao, et al. Research on 3D Reconstruction of Petrochemical Enterprise Pipeline and Its Collision Detection Based on 3D-Scanning Technology [C] // IFCSTA '09. Chongqing: IEEE, 2009.
- [7] 刘求龙,胡伍生,王骢,等. 三维激光扫描仪在惠泉变电站三维模型构建中的应用[J]. 测绘科学, 2011, 36(2):210-212.
- [8] 丁延辉,汤羽扬,周克勤,等. 基于地面三维激光技术的建筑物变形监测研究[J]. 北京测绘, 2011(2):4-6.
- [9] 洪立波,王晏民,过静琚,等. 工程测量技术领域的几个重要发展方向[J]. 测绘通报, 2008(1):1-5.
- [10] 王晏民,洪立波. 现代工程测量技术发展与应用[J]. 测绘通报, 2007(4):1-5.

### 欢迎订阅《测绘通报》

《测绘通报》创刊于1955年,是由国家测绘地理信息局主管、测绘出版社主办的反映我国测绘科技发展现状和指导全国测绘生产业务的国家级综合性、技术性刊物。本刊还是中国科技引文数据库核心统计源期刊,中国学术期刊综合评价数据库核心统计源期刊,中国学术期刊检索与评价数据规范执行优秀期刊,全国中文核心期刊,中国科技核心期刊,中国科学引文数据库来源期刊,中国科学论文数据库核心统计源期刊,中国期刊全文数据库收录期刊。

《测绘通报》的主要内容包括大地测量、全球导航卫星系统(GNSS)、摄影测量、遥感(RS)、地图制图、地理信息系统(GIS)、工程测量、矿山测量、地籍测绘、海洋测绘、测绘仪器、信息传输、图形图像处理等方面的新成果和新技术;行业管理、科研、教学、生产的先进经验;计算机、通信等相关理论技术在测绘领域里的应用及测绘科技在国家经济建设各个方面的应用;国内外测绘学术动态及有关测绘科技信息等。

《测绘通报》的主要栏目有学术研究、技术交流、测绘论坛、测绘市场、经验介绍、国外测绘、行业管理、测量员之窗、企业之窗、新书介绍、测绘教学等。

《测绘通报》(月刊),定价:15.00元,邮发代号:2-223。

编辑部地址:北京市西城区三里河路50号,邮编:100045,订阅电话:010-68531192(金英),68531317(传真)。

网址:<http://tb.sinomaps.com>