

基于激光点云的桥梁墩柱垂直度检测应用技术研究

崔 军¹ 张苏龙² 孙 婧¹ 罗小金³ 毛益佳² 王 捷²

1. 浙江公路技师学院 浙江 杭州 310000;

2. 江苏东交智控科技集团股份有限公司 江苏 南京 210000

3. 武汉点云智绘科技有限公司 湖北 武汉 430000

【摘要】在桥梁的施工过程中,桥梁墩柱的垂直度极易影响到桥梁的受力状态,因此垂直度检测显得尤为重要。传统的桥梁立柱垂直度检测方法自动化和信息化程度较低,人员投入多,测量工期较长,检测效率不高,且提高施工成本。本文是基于激光雷达进行桥梁立柱垂直度检测的研究,对桥梁墩柱进行点云建模以后,通过相关算法的计算测定其垂直度。其检测效率及自动化程度大大提高,进而促进浙江省检测工程智能化的发展。

【关键词】激光点云;桥梁墩柱;垂直度检测;数据分析;三维建模

1 目的与意义

近年来随着我国高速公路的快速发展,桥梁中高墩柱的使用越来越普遍,在桥梁的施工过程中,桥梁墩柱的垂直度极易影响到桥梁的受力状态,因此垂直度检测显得尤为重要。JTG F80 /1-2012《公路工程质量检验评定标准》对桥梁墩柱垂直度的允许偏差以及检查方法和频率做了如下要求:采用吊线锤的方法检查桥梁 4~8 处,桥梁墩柱倾斜度 $<0.3\% H$ (H 为墩身或柱高度)且 $<20\text{ mm}$ 。高墩桥梁墩柱施工的初始倾斜、承台或桩基下沉、外部荷载作用和表面凹凸现象都可能引起倾斜。

通常对于桥梁的墩柱垂直度检测采用的是接触式的吊线锤法,但是此方法对环境有着较高要求,风力较大时会影响锤球的垂度,进而影响检测结果。近年来基于全站仪的弧长检测法、圆柱偏心法等非基础方法由于精度高、操作简便,在桥墩垂直度检测中的应用越来越多。然而,研究发现,常规的垂直度检测方法通常只能检测出具有特征点部位的水平偏移及倾斜率,不能检测出构筑物中心轴线的空间线形。因此对于高墩柱垂直度的测量,既有传统方法已逐渐不适用^[1]。

2 技术简介

三维激光扫描技术又被称为实景复制技术,是测绘领域继 GPS 技术之后的一次技术革命。它通过高速激光扫描测量的方法,大面积高分辨率地快速获取被测对象表面的三维坐标数据。可以快速、大量的采集空间点位信息,为快速建立物体的三维影像模型提供了一种全新的技术手段。由于其具有快速性,不接触性,穿透性,实时、动态、主动性,高密度、高精度,数字化、自动化等特性,其应用推广会像 GPS 一样引起测量技术的又一次革命,它突破了传统的单点测量方法,具有高效率、高精度的独特优势。三维激光扫描技术能够提供扫描物体表面的三维点云数据,因此可以用于获取高精度高分辨率的数字模型^[2]。



设备外观

本项目拟采用三维激光扫描仪,对桥梁墩柱进行点云建模以后,通过相关算法的计算测定其垂直度^[3]。本项目使用的设备为 Trimble SX10,该设备集扫描仪、全站仪、影像仪功能于一身,具备扫描距离长(600 米)、扫描速度快(26.6kHz)、扫描精度高(测角精度 1 秒、测距精度 $1\text{ mm} + 1.5\text{ ppm}$)、扫描分辨率高等特点。可通过具备 win10 操作系统的军标手簿控制器来操控该设备,该设备还内置了同轴高分辨率望远镜相机、主相机、广角相机、对中相机,使彩色影像与点云的匹配无偏差。

3 工程概况

本项目的依托工程为浙江省湖州地区 S305 鹿唐线安吉县四十六号桥(K98+142)及文村桥(K65+596)两座桥梁。



图 5.3-1 四十六号桥正面照



图 5.3-2 四十六号桥立面照

四十六号桥位于湖州市安吉县 S306 省道上,中心桩号为 K98+142,建于 2007 年。全长 46.08m。全桥共 2 跨,桥跨布置为:2×20m,边板上设置护栏,桥面铺装采用沥青混凝土。



图 5.3-3 文村桥正面照



图 5.3-4 文村桥立面照

文村桥位于 S306 鹿唐线湖州市安吉县境内,中心桩号为 K65+596。全长 94.0m,共计 5 跨,跨径组合形式为 5×16m。桥面总宽 12.25m,车行道宽 11.25m。桥面铺装采用沥青混凝土。

4 点云采集与数据分析

4.1 点云建模

本次研究采用的三维激光扫描仪是 Trimble SX10,该设备集扫描仪、全站仪、影像仪功能于一身,具备扫描距离长(600 米)、扫描速度快(26.6kHz)、扫描精度高(测角精度 1 秒、测距精度 1mm+1.5ppm)、扫描分辨率高等特点。可通过具备 win10 操作系统的军标手簿控制器来操控该设备,该设备还内置了同轴高分辨率望远镜相机、主相机、广角相机、对中相机,使彩色影像与点云的匹配无偏差。外业数据采集^[4]时,在桥梁的两侧及桥底设站,同时选择 3 个标靶作为公共标靶,保证每个标靶都与设站点通视,通过标靶配准多站数据。

三维建模是三维激光扫描技术的一个重要应用,是根据获取的三维点云数据,经过处理,提取建模所需要数据,对物体进行实体造型,根据结果的存储方法和处理方式可以分为四种:点云模型、三维线框模

型、三维表面模型和三维实体模型。本项目采用 PolyWorks 点云数据处理软件进行建模^[5]。建模步骤如下:

①对原始点云进行裁剪和粗差剔除。运用 PolyWorks 点云数据处理软件对点云数据进行裁剪,去除桥墩周围的其他点云数据,并对桥墩的点云数据进行去噪处理,剔除测量粗差,对点云数据进行优化。

②桥墩模型建立。为获得准确的桥墩模型,采用在桥墩顶部、中部和底部截取一段点云数据进行数据建模,运用 PolyWorks 点云数据处理软件建模模块,对点云数据进行建模得到桥墩三维模型,建模精度为 1mm。



图 5.3-8 四十六号桥预处理后桥墩的点云图



图 5.3-10 文村桥预处理后桥墩的点云图

4.2 垂直度检测

经过点云拼接与数据处理后,获得桥梁完整的三维模型。然后分别在桥墩底部、中部和顶部截取水平截面,并获得其中点的坐标,如下图所示:

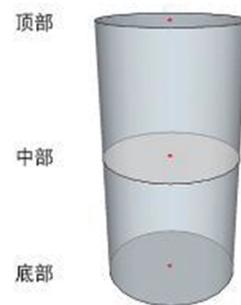


图 4.4-4 桥墩断面截取

把水平截面的中心点作为计算桥墩垂直度的特征点,并获得特征点的三维坐标。定义桥墩垂直度计算公式:

$$\text{垂直度} = \frac{\text{桥墩特征点水平偏差}}{\text{桥墩特征点高差}} = \frac{\sqrt{(X_1 - X_2)^2 + (Y_1 - Y_2)^2}}{|Z_1 - Z_2|}$$

根据公式,计算时应以顶部—中部以及中部—底部垂直的均值作为该桥墩的垂直度。

本项目在现场一共对 4 个桥墩进行了垂直度的

检测,获得了12个特征断面中点的坐标,中点坐标的读取可通过点云分析软件中的“检索圆心”的功能实现。

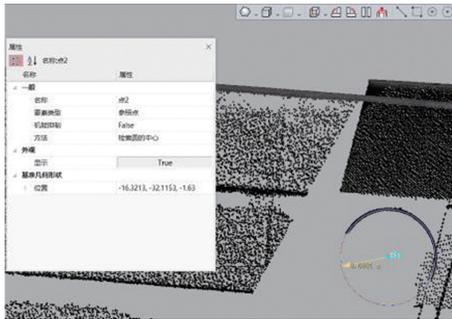


图 5.3-11 分析软件

12个特征断面的圆心坐标如下表所示:

表 5.3-1 特征点坐标

桥墩编号	断面位置	X 坐标	X 坐标	X 坐标
1号桥墩	顶部圆心	-16.3219	-32.116	0.71
	中部圆心	-16.3213	-32.1153	-1.63
	底部圆心	-16.3218	-32.1167	-3.97
2号桥墩	顶部圆心	-32.2498	-30.875	0.71
	中部圆心	-32.2493	-30.8787	-1.63
	底部圆心	-32.2452	-30.8765	-3.97
3号桥墩	顶部圆心	6.2417	-2.666	0.74
	中部圆心	6.2411	-2.6643	-2.11
	底部圆心	6.2435	-2.6643	-4.96
4号桥墩	顶部圆心	9.6261	0.885	0.74
	中部圆心	9.6213	0.8881	-2.11
	底部圆心	9.6243	0.889	-4.96

【参考文献】

[1]孙旭. 浅谈桥梁高墩柱施工存在的问题及质量控制[J]. 建筑工程技术与设计, 2014(2): 121-121, 113.

[2]Yu Y, Ferencz A, Malik J. Extracting Objects from range and radiance images[J]. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2001, 7(4): 351-364.

[3]余加勇, 邵旭东, 朱建军, 等. 柱状构筑物垂直度非接触检测方法及其精度分析[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2008, 32(6): 1153-1156.

[4]寇光明. 浅谈桥梁墩柱垂直度的测量控制方法[J]. 西南公路, 2015(3): 26-27, 39.

[5]BRAD Grinstead, ANDREAS Koschan, DAVID Page, ANDREI Gribok, and MONGI Abidi. Vehicle-borne Scanning for Detailed 3D Terrain Model Generation[C], 2005.

[6]JTG F80 /1-2012, 公路工程质量检验评定标准[S]. 北京: 人民交通出版社, 2012.

垂直度计算结果如下:

表 5.3-2 垂直度计算

桥墩编号	垂直度计算结果 (顶部-中部)(%)	允许值 (中部-底部)(%)
1	0.00039	0.00064
2	0.00160	0.00199
3	0.00063	0.00084
4	0.00200	0.00110

从检测结果来看,现场检测的4个桥墩的垂直度均满足《公路桥涵施工技术规范》(JTG TF50-2011)中表14.6.1要求垂直度不超过0.3%的要求,合格率为100%。

5 研究结论

本文阐述了三维激光雷达扫描技术在桥梁墩柱垂直度检测中应用的基本原理,并将该技术应用在实体桥梁工程中,主要结论如下:

(1)基于桥墩三维模型,通过分析特征点的三维坐标,提出了桥墩垂直度计算方法。

(2)通过地面激光扫描仪的工程应用,实现了对桥梁墩柱的三维激光建模及墩柱垂直度的检测,结果表明其符合规范要求;

(3)采用激光雷达技术能够实现桥梁墩柱垂直度的自动化检测,提高了检测效率,具有良好的社会效益。