

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2021.12.052

基于向量法的桥墩垂直度快速测量方法研究

苑晓锋, 邓立云

(上海市建筑科研究院有限公司, 上海市 200032)

摘要: 桥梁施工或运营管理过程中,桥墩垂直度均是重要的控制因素之一。在阐述墩柱传统测量方法的基础上,利用三维激光扫描技术,提出了基于向量法的墩柱垂直度快速测量方法,并结合实际墩柱测量结果,得出该方法与传统方法测量结果一致,且测量精确度较高,对于桥梁墩柱或类似高耸建筑的垂直度测量,均具有一定的应用前景。

关键词: 垂直度;桥墩;激光扫描仪

中图分类号: U415

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2021)12-0184-03

0 引言

随着我国交通事业的快速发展,一方面,山区公路建设桥梁工程所占比例越来越高,且大跨度高墩柱桥型越来越多;另一方面,近年来城市桥梁倾覆事故层出不穷,城市高架运营期间的结构安全越来越受到管养单位的重视。在施工阶段,桥墩的垂直度控制是桥梁施工质量的主要因素之一^[1]。同时,桥梁墩柱的垂直度对桥梁的受力状态也会产生较大的影响。运营期间,一旦桥梁墩柱出现超限垂直度,就会产生附加应力,危及桥梁上部结构的运营安全,影响城市运营和民众安全。

近年来,许多学者通过工程实践和理论分析方法对传统的垂直度测量方法进行分析并提出改进方法。余加勇等^[2]提出采用全站仪非接触投影法对无明显特征点的柱状构筑物进行垂直度测量的方法。寇光明^[3]介绍了坐标法、垂线法、弧长公式法、全站仪加直尺法,并对四种方法的优缺点进行了对比分析。刘亚杰、丁克良等^[4]提出了无接触桥梁立柱偏心测量法,并验证了其相对传统方法的优势。本文主要阐述了基于向量法三维激光扫描技术在桥梁墩柱垂直度测量过程中的应用和计算方法,并结合现场工程数据,分析该方法在墩柱垂直度测量应用中的准确度。

收稿日期: 2021-03-05

作者简介: 苑晓锋(1985—),男,硕士,工程师,从事桥梁检测工作。

1 桥墩垂直度既有测量方法

1.1 吊垂线法

吊垂线法利用万有引力原理进行测量,不需要使用复杂的仪器,可以用较为简单的流程完成模板矫正和垂直度检测。因而,得到广泛应用,同时也是旧版评定标准中规定的传统测量方法。

吊垂线法是在桥梁墩柱模板安装完毕后,在模板上部边缘四周分别悬挂或支出一根,用于吊一定质量的锤球,且与抗风绳方向保持一致,在垂线下或者墩柱底部设置读数设备(如毫米格网读数板),直接读取或者量出墩柱顶部相对于底部的水平位移和方向。若其误差在规范允许范围内,则视为合格,否则为不合格墩柱。

吊垂线法受现场影响明显,如果现场风力较大,会使锤球摇摆不定,很难甚至无法进行垂直度的测量。因此,吊垂线法对施测环境有较高的要求。测量时无风或风力较小,不影响锤球垂度,并且要求桩基施工定位准确、无偏位。同时,此方法对精度的控制较差,对测量人员的责任心要求非常高,并且在测量时需要用起高设备将测量人员送到墩柱上部进行垂直度检测。随着越来越多高桥墩的出现,这种方法既不能保证测量人员的人身安全,也不能保证测量数据的准确度^[4]。

1.2 弧长公式法

弧长公式法是利用弧长公式 $d=n\pi R/180^\circ$ (R 为仪器到墩柱的距离)计算偏位的一种方法。该方法是通过把全站仪架设到能看到完整墩柱的位置,先把

仪器视角调到模板顶最外侧,水平转盘锁定、置零。然后把仪器视角调整到墩柱模板底部,解锁水平盘,再把视角微调整到墩柱模板底部最外侧,就可以得到一个水平角度 α 。把 α 换算成度就得到 n ,带入上述公式,反复调整抗风绳,反复计算偏位,直到偏位 d 在规定范围之内。

此方法的优点在于精度高,能较好地控制垂直度。缺点为需要多次测设角度,多次计算偏位,相对而言较烦琐;需要至少架设两次仪器,一次测横向,一次测纵向,受地势影响非常大,尤其是墩柱横向遇到陡坡、湖泊地段,测设就非常困难。

2 基于向量法的扫描仪测量法

对于既有桥梁墩柱垂直度测量存在一定难度和效率低下的现实难题,三维激光技术凭借着使用简单、快速扫描、应用范围广泛等优点,在各行业得到广泛应用。

三维激光扫描仪测量墩柱垂直度的原理是通过每根墩柱一个或两个表面进行扫描,提取数据建模,并对模型上的点云数据通过空间解析几何算法,计算其各方向上的垂直度。

2.1 矩形截面桥墩

矩形截面形式的桥墩,无论是变截面还是等截面形式,只要其设计侧面是平面,通过计算其中一个侧面的法向量,再求算此法向量与竖直单位向量 $\vec{Z}(0,0,1)$ 的夹角,就可得到此侧面与竖直方向的偏角。再与其原设计平面空间位置对比分析,即可得到此立柱在竖直方向的偏角。

在建模平面选定8个测点 $P_1\sim P_8$,并分别记录这8个测点的空间坐标 $P_i(x,y,z)$,如图1所示。所选测点需要具有代表性和精确性,保证选点位于结构表面、平坦干净、无凹凸、无异物的位置。

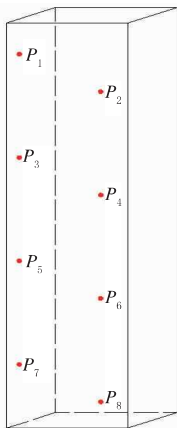


图1 选点示意图

根据所选8个测点,可以交互得到8个三角形,如分别代表该侧平面的8个平面: $S_{(127)}$ 、 $S_{(147)}$ 、 $S_{(167)}$ 、 $S_{(187)}$ 、 $S_{(218)}$ 、 $S_{(238)}$ 、 $S_{(258)}$ 、 $S_{(278)}$ 。理论上,倘若立柱该侧面在空间是一个规则的、标准的平面,那么交互得到的8个三角形共面,计算出来的垂直度完全相同。

针对上面得到的每个平面,均可得出两个空间向量。例如 $S_{(127)}$ 平面内向量 $\overrightarrow{P_1P_2}$ 和向量 $\overrightarrow{P_1P_7}$,现在通过求解这两向量的叉积,得到这两个向量所在平面 $S_{(127)}$ 的法向量 $\vec{N}_i(x,y,z)$:

$$\begin{aligned} \vec{N}_i(x,y,z) &= \overrightarrow{P_1P_2} \times \overrightarrow{P_1P_7} = (a_1, b_1, c_1) \times (a_2, b_2, c_2) \\ &= \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \end{vmatrix} \\ &= (b_1c_2 - b_2c_1)\vec{i} + (a_1c_2 - a_2c_1)\vec{j} + (a_1b_2 - a_2b_1)\vec{k} \\ &= (b_1c_2 - b_2c_1, a_1c_2 - a_2c_1, a_1b_2 - a_2b_1) \end{aligned}$$

计算每一个法向量 $\vec{N}_i(x,y,z)$ 与单位向量 $\vec{Z}(0,0,1)$ 的夹角,即可计算分析得到此侧平面的垂直度和偏向,即此立柱的一个垂直度。最后取平均值作为此立柱的垂直度。

2.2 圆形截面桥墩

圆形截面桥墩可以通过选定两个不同高度的水平截面,针对每个截面,在其周长上可以通过三点坐标计算得到此截面圆心的空间坐标。无论是变截面还是等截面,两截面圆心连线即立柱轴线。通过计算此轴线方向向量 $\vec{Z}(x,y,z)$ 与竖直单位向量 $\vec{Z}(0,0,1)$ 的夹角,即可得到此立柱在竖直方向的偏角。

3 工程应用实例

对某桥矩形断面墩柱通过传统方法和三维激光扫描仪两种方法分别测定其垂直度,并对通过三维激光扫描仪测得结果与传统方法测得结果进行对比分析,用以验证基于向量法的扫描仪测量结果的准确性。

3.1 传统方法测量结果

按照矩形截面形式桥墩的弧长公式法现场测量的数据和计算结果见表1。根据实测结果,该墩柱东西方向倾斜率 $\xi=0.432\%$,方向朝西;南北方向倾斜率 $\xi=0.567\%$,方向朝南。

3.2 基于向量法的扫描仪测量法

通过三维激光扫描仪对墩柱扫描后测量建模效果(如图2所示),分别对墩柱建筑模型西侧面和北侧面选取8个点,墩柱西侧面和北侧面选取测点坐标见表2和表3。

表1 弧长公式法测量数据及计算结果

测量方向	测点	水平角	垂直角	斜距/m	高程/m	水平角差/rad	高差 h/m	偏移量 d/mm	d/h/‰	方向
东西向	ZD3	260°22'41.4"	82°39'57.7"	21.802 4	54.230 7	0.000 217	10.881	4.697	0.432	西
	ZD4	260°23'26.2"	57°42'35.0"	25.579 1	65.112 1					
南北向	YD3	22°58'18.3"	88°36'15.3"	33.030 5	48.489 5	0.000 312	18.169	10.294	0.567	南
	YD4	22°59'22.6"	63°15'53.8"	34.235 6	66.658 4					

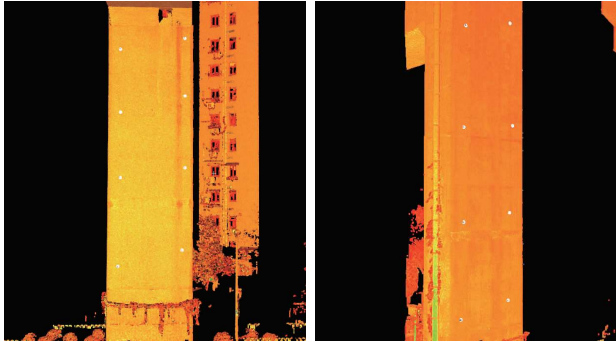


图2 墩柱西侧面、北侧面建模效果图

表2 墩柱西侧面选点坐标

选点	坐标/m		
	X	Y	Z
P1	-19.593	-26.399	20.045
P2	-24.063	-27.093	18.435
P3	-19.453	-26.371	14.980
P4	-23.875	-27.060	13.544
P5	-19.489	-26.369	9.763
P6	-23.869	-27.059	7.399
P7	-19.489	-26.374	4.252
P8	-23.887	-27.061	3.430

表3 墩柱北侧面选点坐标

选点	坐标/m		
	X	Y	Z
P1	-18.376	-28.376	27.927
P2	-18.653	-26.662	25.998
P3	-18.372	-28.407	20.224
P4	-18.664	-26.701	18.514
P5	-18.391	-28.434	12.149
P6	-18.680	-26.619	10.527
P7	-18.384	-28.457	3.393
P8	-18.659	-26.666	2.499

分别于对建筑模型西侧面和北侧面选点组成的8个平面S1~S8,计算其法向量,并据此分别计算墩柱垂直度,详见表4和表5。墩柱东西方向倾斜率 $\xi=0.410‰$,方向朝西;南北方向倾斜率 $\xi=0.585‰$,方向朝南。

3.3 对比结果

通过两种方法的计算结果对比显示(见表6),基

表4 墩柱西侧面垂直度计算表

测面	法向量	坐标/m			倾斜计算结果	
		X	Y	Z	垂直率 $\xi/‰$	倾斜方向
S1 ₍₁₂₇₎	N ₍₁₎	11.005	-70.772	-0.037	0.520	西
S2 ₍₁₄₇₎	N ₍₂₎	10.600	-68.302	-0.036	0.522	西
S3 ₍₁₆₇₎	N ₍₃₎	10.742	-68.853	-0.036	0.517	西
S4 ₍₁₈₇₎	N ₍₄₎	10.862	-69.542	-0.036	0.516	西
S5 ₍₂₁₈₎	N ₍₅₎	-10.470	67.366	0.022	0.292	西
S6 ₍₂₃₈₎	N ₍₆₎	-10.717	68.561	0.021	0.308	西
S7 ₍₂₅₈₎	N ₍₇₎	-10.579	67.107	0.020	0.292	西
S8 ₍₂₇₈₎	N ₍₈₎	-10.328	66.135	0.021	0.310	西

表5 墩柱北侧面垂直度计算表

测面	法向量	坐标/m			倾斜计算结果	
		X	Y	Z	垂直率 $\xi/‰$	倾斜方向
S1 ₍₁₂₇₎	N ₍₁₎	-42.203	-6.776	0.037	0.855	南
S2 ₍₁₄₇₎	N ₍₂₎	-41.847	-7.002	0.037	0.876	南
S3 ₍₁₆₇₎	N ₍₃₎	-44.504	-7.319	0.039	0.867	南
S4 ₍₁₈₇₎	N ₍₄₎	-44.000	-6.749	0.037	0.832	南
S5 ₍₂₁₈₎	N ₍₅₎	40.283	6.493	-0.013	0.312	南
S6 ₍₂₃₈₎	N ₍₆₎	40.975	6.637	-0.013	0.314	南
S7 ₍₂₅₈₎	N ₍₇₎	41.586	6.245	-0.013	0.312	南
S8 ₍₂₇₈₎	N ₍₈₎	42.080	6.465	-0.013	0.313	南

于向量法的三维激光扫描仪建模处理结果与传统方法测定的墩柱倾斜方向一致,垂直度数值相对误差分别为5.36%和3.07%。说明基于向量法三维激光扫描法测量桥梁墩柱垂直度的精确度较高。

表6 传统方法和向量法测量结果对比

测量方向	向量法	传统方法	相对误差 Δ
东西方向	0.410‰(向西)	0.432‰(向西)	5.36%
南北方向	0.585‰(向南)	0.567‰(向南)	3.07%

4 结语

随着三维激光技术的发展,其在桥梁检测监测中的应用范围愈加广泛。本文阐述了基于向量法三

(下转第190页)