

充气膜结构泄气过程的摄影测量实用方法

沈珊珊¹, 龚景海¹, 孟文清²

(1. 上海交通大学 船舶海洋与建筑工程学院, 上海 200240; 2. 河北工程大学 土木工程学院, 河北 邯郸 056038)

摘要: 针对充气膜结构测量难问题, 提出采用摄影测量的方法来获取试验数据。在泄气过程中利用摄影测量原理获得膜面标志点的坐标, 通过膜面上的各个标志点的位移情况来模拟近似膜面的整体变形情况, 从而获得泄气不同时刻膜面整体下降形态, 试验研究成果与理论值趋势相同, 证明大型结构采用动态摄影测量的可行性。

关键词: 摄影测量; 充气膜结构; 位移视差法; 标志点

中图分类号: TU196

文献标识码: A

Practical method of photogrammetry in the deflation process of inflatable membrane structure

SHEN Shan - shan¹, GONG Jing - hai¹, MENG Wen - qing²

(1. School of Naval Architecture, Ocean and Civil Engineering of Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China;

2. College of Civil Engineering, Hebei University of Engineering, Hebei Handan 056038, China)

Abstract: Inflatable membrane structures are large, the test process is dynamic and can't be realized by general measure methods. So it's more appropriate to obtain the test data through the method of photogrammetry. The coordinates of the measuring points in the membrane surface can be obtained by using photogrammetry principle, and the overall deformation of inflatable membrane structure can be simulated through the displacement of measuring points. Result of the test has the same trend with the theoretical results, so the test method and analysis of data processing in this paper has a certain reference value.

Key words: photogrammetry; inflatable membrane structure; motion parallax; measuring points

在科学研究中, 当需要知道研究对象的变化规律或其变化的轨迹, 或研究其三维空间的变化时, 摄影测量是一种迅速、精确的测量法^[1]。摄影测量方法在检测建筑物或构筑物的变形、桥梁动静载检测、建构物爆破倒塌过程、监测矿山井筒变形^[2]等方面的应用研究都取得了较好的研究成果。本次研究的对象是大型充气膜结构泄气过程中的摄影测量, 试验中测点设置较多且在不断的运动, 用经纬仪、全站仪等测量比较困难, 而摄影测量恰好弥补了这些缺陷。本研究为大型结构的动态过程测量提供一种实用方法。

1 充气膜结构摄影测量试验简介

1.1 试验介绍

本试验是对在建的充气膜结构进行泄气试验。充气膜结构的平面尺寸 97 m × 80 m, 充气成型高度 32 m。主要利用摄影测量原理测试泄气过程中不同时刻膜面整体下降形态, 计算横剖面上特定点的位移。

1.2 试验过程

首先对需要测量的点进行标记, 在横截面的

收稿日期: 2014 - 10 - 24

基金项目: 国家自然科学基金项目(51378307)

作者简介: 沈珊珊(1990年)女, 汉, 江苏宜兴人, 研究生, 研究方向为大跨空间结构。

膜面上均匀布置7个点(如图1)在地面另布置进行对比矫正的标志点。利用全站仪确定地面所有标志点的相对坐标。

随着气压下降,膜面会随之下降,膜面标志点也随之产生位移,位移以竖向位移为主,但由于气压的下降,膜面失去刚度,因此标志点也会产生水平位移,但由于测试时风速很小,故水平位移不明显。相机每隔 t 时间拍摄一张照片,由此得到各个时刻的标志点位移情况。

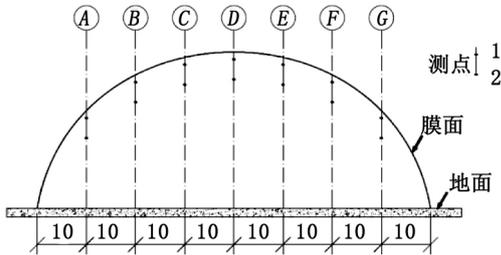


图1 测点布置图

Fig.1 The location of measuring points

2 试验数据处理及分析方法

2.1 求相机仰角

利用 photoshop 读取测点在相片中的像素位置。相机的仰角可以通过平面换算求出。

图2是相机与测点D所在的垂直面,中间部分相机无畸变,可以用来计算仰角。 O 点为相机所在高度, $p1$ 、 $p2$ 为标尺实际高度, $hp2$ 为测点D到地面的实际距离。由于相机有仰角,因此所拍摄的照片不是 $h - S - p1 - p2$ 面,而是 $H - S - P1 - P2$ 面。可以通过几何关系换算,求得相机仰角。垂直面上的 $p1$ 实际点在相片上应为 $P1$ 点。

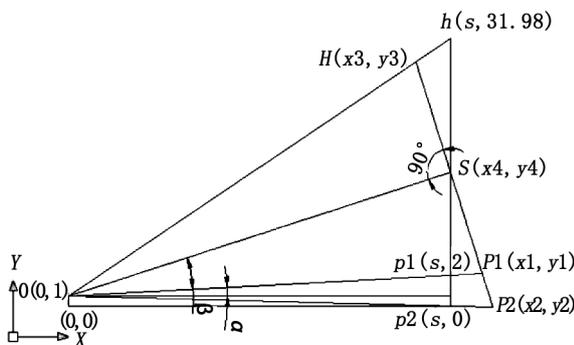


图2 相机垂直面示意

Fig.2 Vertical plane of camera

α s l 为已测量出的数据,而各直线方程为:

$$hp2: x = s; Op1: y = \frac{2-l}{s}x + l; Op2: y = \frac{-l}{s}x + l;$$

$$Oh: y = \frac{31.98-l}{s}x + l; Os: y = \tan(\alpha + \beta)x + l;$$

$$Hp2: \frac{x-s}{-\tan(\alpha + \beta)} + \tan(\alpha + \beta) \quad (1)$$

确定各点坐标及各线段的长度:(令 $t = \tan(\alpha + \beta)$)

$$P1(x_1, y_1): \begin{cases} y_1 = \frac{2s + st^2(2-l)}{(2-l)t + s} \\ x_1 = \frac{(y_1 - l)}{(2-l)s} \end{cases}$$

$$P2(x_2, y_2): \begin{cases} y_2 = \frac{st^2(2-l)}{(-l)t + s} \\ x_2 = \frac{(y_2 - l)}{(-l)s} \end{cases}$$

$$H(x_3, y_3): \begin{cases} y_3 = \frac{31.98s + st^2(31.98-l)}{(31.98-l)t + s} \\ x_3 = \frac{(y_3 - l)}{(31.98-l)s} \end{cases}$$

$$S(x_4, y_4): \begin{cases} x_4 = s \\ y_4 = \tan(\alpha + \beta) \end{cases}$$

$$P1P2 = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

$$HP2 = \sqrt{(x_2 - x_3)^2 + (y_2 - y_3)^2}$$

$$HS = \sqrt{(x_4 - x_3)^2 + (y_4 - y_3)^2}$$

$$SP2 = \sqrt{(x_2 - x_4)^2 + (y_2 - y_4)^2} \quad (2)$$

换算出斜平面上标尺与总高比:

$$p = \frac{\text{标尺像素值}}{\text{总高像素值}} = \frac{P1P2}{HP2}$$

根据上述原理运用 vb 编程,得出相机仰角 β 及用 β 角换算出结构总高。

2.2 将测点的像素点坐标转换为实际坐标

X_0 、 Y_0 分别为 S 像素点坐标, Dx 、 Dy 分别为 x 、 y 方向每像素点对应的实际长度。为计算方便,先转换坐标系,并将转换后的坐标系单位由像素变为米。

$$X \text{ 转换坐标系后的实际坐标: } X' = (X - X_0) Dx$$

$$Y \text{ 转换坐标系后的实际坐标: } Y' = (Y - Y_0) Dy$$

(3)

2.3 根据位移视差法求像平面坐标

2.3.1 位移视差法的基本原理

位移视差法是用于测量物体二维变形的一种近景摄影测量方法^[3-4]。它是基于相机位置固定,像平面与所测平面平行,内外元素保持不变,相隔固定时间拍摄的两张照片。将第一张照片作

为标准,第二张相片与之作对比。当相片内物点有变形位移时,就会产生左右视差、上下视差。其本质是基于相机针孔成像的像平面和物平面的物体大小成线性关系。其变形量可按下式计算:

$$\Delta X = \frac{Z}{f} \Delta P_x, \Delta Y = \frac{Z}{f} \Delta P_y \quad (4)$$

式中: ΔX 、 ΔY 为变形量; ΔP_x 、 ΔP_y 为左右视差和上下视差; Z 为相机光心到所测物面的距离; f 为相片主距。

2.3.2 利用位移视差法求测点的实际坐标

位移视差法条件^[3]: 相机的像平面与物平面平行,被测物体的移动范围在光心附近,则相片与物体有可靠的线性关系。由于测量时相机有仰角,因此像平面与物平面不再平行,不满足位移视差法的条件。可通过转换平面,使之满足位移视差法条件。

如图 3 所示, E 平面为所测物平面; E' 平面为与主光轴垂直的面,即与像平面平行,因此 E' 平面与像平面可用位移视差法。 E' 平面与 E 平面也存在相对关系,图中物平面上的 P 点投影到 E' 平面上为 p 点,即 S 、 P 、 p 在一直线上。

已知 S 的坐标为 $(0, 0, z_0)$, p 的坐标为 $(x_0, y_0, 0)$, 则 Sp 直线方程为: $\frac{x-x_0}{-x_0} = \frac{y-y_0}{-y_0} = \frac{z}{z_0}$, E' 平面方程 $z=0$, E 平面方程为 $z = -y \tan \beta$ 。

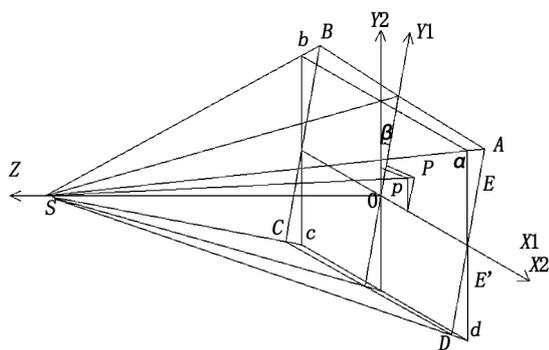


图3 物平面E与成像平面E' 的转换图
Fig.3 Conversion between plane E and plane E'

联立方程可得 P 点坐标:

$$\begin{cases} x = \frac{x_0 z_0}{z_0 - y_0 \tan \beta} \\ y = \frac{y_0 z_0}{z_0 - y_0 \tan \beta} \\ z = \frac{-y_0 z_0 \tan \beta}{z_0 - y_0 \tan \beta} \end{cases} \quad (5)$$

采用 vb 语言编程,将大量数据输入,将所有

测点各个时刻的坐标转换为实际坐标。

2.4 相机的畸变

当镜头质量不佳或使用视角较大的广角镜头时,在远离图像中心的边缘区域会形成较大的畸变^[5-6],畸变误差可表示如下:

$$\delta x = x(k_1 \rho^2 + k_2 \rho^4 + \dots) \quad \delta y = y(k_1 \rho^2 + k_2 \rho^4 + \dots) \quad (6)$$

其中 $\rho = \sqrt{x^2 + y^2}$ 是像点到相机主点的距离; k_1 、 k_2 是径向轴对称畸变误差系数。

此影响可以通过对地面标志点进行修正,从而可以得到 k_1 、 k_2 等系数。标志点在试验时通过全站仪进行定位,得到地面标志点的精确坐标,从而得到修正系数。

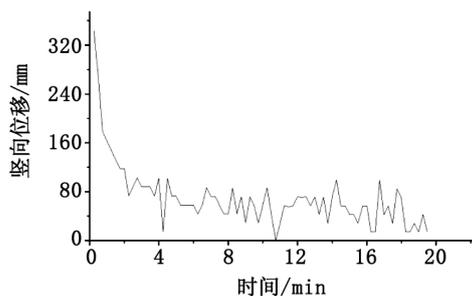


图4 D点各时刻竖向位移

Fig.4 Vertical displacement of D point

图 4 是 D 标志点在各个时刻的竖向位移,图 5 是 P 点在各个时刻的竖向位移, P 点为 D 点附近一点,其数据是通过全站仪测量得到的,比较精确。 D 点数据是通过试验数据加后期理论处理得出。由于位置不同,及测量开始时刻不同,位移图会有偏差,但两图的趋势接近,故可以认为上述试验分析方法是可行的。

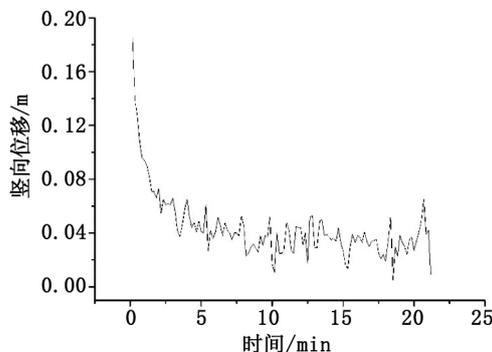


图5 P点各时刻竖向位移

Fig.5 Vertical displacement of P point

由图 4、5 可知充气膜结构在泄气初始阶段竖向位移很大,随着气压的降低,竖向位移逐渐平缓。测点在泄气过程中的位移情(下转第 26 页)

2) 在基坑开挖较浅时受先施工基坑的影响比开挖较深时受的影响要大。

参考文献:

- [1]徐伟,夏乔网,徐鹏飞,等. 软土地基临江特大型相邻深基坑同期施工监测分析[J]. 岩石力学与工程学报,2013,32(Z1):2676-2693.
- [2]郭力群,程玉果,陈亚军. 不同间距下相邻基坑相互影响数值分析[J]. 华侨大学学报:自然科学版,2014,35(1):92-96.
- [3]戴佳立,张建新,杜文奇,等. 深基坑工程对周围环境影响的安全评价[J]. 河北工程大学学报:自然科学版,2011,28(3):21-25.
- [4]龚晓南. 基坑工程实例[M]. 北京: 中国建筑工业出版社,2012.

(上接第7页)

参考文献:

- [1]MIDAS GEN 工程应用指南[M]. 北京: 中国建筑工业出版社,2012.
- [2]JGJ7-2010 空间网格结构技术规程[S].
- [3]郭彦林,邓科,王宏,等. 广州新白云国际机场维修机库钢屋盖整体提升技术[J]. 工业建筑,2004,34(12):6-11.
- [4]刘彪,刘航. 首都机场 A380 机库屋盖整体提升施工

(上接第13页)况大致符合理论规律。因此用单台相机测量大型结构在平面内动态位移的方法是可行的,测量的前提是必须保证位移在平面内。测量前的准备工作应做好,考虑必须周全。测点标志点大小应合适。标志点的大小应根据试验外部环境条件、相机像素及相机拍摄距离确定。在进行试验之前应做小测量试验来确定相机位置及标志点大小,以确保在试验中所有标志点都在相片内,并且都能被精确识别。测量时测点应在迎光面,这样可以保证光线充足,对后期数据处理时点的定位很重要,可以有较高的精确度。尽量使标志点在光心附近,因为相机成像时相片边缘处会产生畸变,对标志点的定位会产生影响。

3 结语

本次试验结果趋势与理论趋势符合,因此此试验方法与数据分析处理是可行的。当研究大型建筑动态监测时,无法用常规监测研究方法进行

出版社,2012.

- [5]T BENZ. Small-strain Stiffness of Soils and Its Numerical Consequence[D]. Stuttgart: University of Stuttgart, 2006.
- [6]龚东庆,郑渊仁,硬化土体模型分析基坑挡土壁与地盘变形的评估[J]. 岩土工程学报,2010,32(Z2):175-178.
- [7]尹骥,小应变硬化土模型在上海地区深基坑工程中的应用[J]. 岩土工程学报,2010,32(Z1):166-172.
- [8]王卫东,王浩然,徐中华. 基坑开挖数值分析中土体硬化模型参数的试验研究[J]. 岩石力学,2012,33(8):2383-2390.

(责任编辑 刘存英)

过程分析[J]. 施工技术,2008,37(4):50-52.

- [5]陈冬冬,姚刚. 上海浦东波音机库屋盖整体提升施工技术[J]. 重庆交通大学学报:自然科学版,2010,29(4):650-653.
- [6]李张苗,寇新建,蒋萌,等. 钢结构施工过程中人因失误因素 AHP 分析[J]. 河北工程大学学报:自然科学版,2014,31(1):17-19.
- [7]丁芸孙,刘罗静,朱洪符,等. 网架网壳设计与施工[M]. 北京: 中国建筑工业出版社,2006.

(责任编辑 刘存英)

时,本文所述方法是可靠的,值得借鉴,但必须保证变形是在平面内的前提下。

参考文献:

- [1]丁窘鞞,刘友光. 工程摄影测量现状及其发展趋势[J]. 勘察科学技术,1983(3):71-73.
- [2]刘昌华. 监测矿山井筒变形的摄影测量及其数据处理方法[J]. 焦作工学院学报,1997(16):6-10.
- [3]丁窘鞞,刘友光. 工程摄影测量应用实例(I)[J]. 勘察科学技术,1984(3):60-61.
- [4]王汉章. 近景摄影测量方法在桥梁动静载检测上的应用研究[D]. 吉林: 吉林大学,2013.
- [5]周拥军. 基于未检校 CCD 相机的三维测量方法及其在结构变形监测中的应用[D]. 上海: 上海交通大学,2007.
- [6]胡亚江,沙月进. 求解普通相机径向畸变系数的一种简便方法[J]. 测绘与空间地理信息,2009,32(5):182-183.

(责任编辑 王利君)