应用近景摄影测量检测大型工业设备变形

程效军,杨世渝

(同济大学 测量与国土信息工程系,上海 200092)

摘要:对近景摄影测量检测大型匀矿机变形进行了介绍和讨论,并对该方法进行精度分析.通过某钢铁厂的大型匀矿机变形检测实例,以及将近景摄影测量的结果与电子全站仪法测量的结果进行比较,证明该方法快速、准确,在大型工业设备及房屋建筑检测中有良好的应用前景.

关键词:近景摄影测量;大型工业设备;变形检测;高精度
中图分类号:P 234.1 **文献标识码**:A **文章编号**:0253 - 374X(2002)11 - 1346 - 04

Detection of Deformation for Large Industry Equipment by Using Close - range Photograph

CHENG Xiao - jun, YANG Shi - yu

(Department of Surveying and Geoinformatics, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: The detection of deformation for big mineral machines has been introduced and discussed by using close - range photograph. The accuracy of this method has been analyzed. A real application example in an iron factory shows that this method is faster and more accurate comparing with the traditional method using total station. So the close - range photograph has good application features in the detection of deformation for large industry equipment and buildings.

Key words: close - range photograph; large industry equipment; detection of deformation; high accuracy

某大型钢铁厂的进口原料传送设备匀矿取料机已运转多年,其倒梯形横行大梁已经变形,影响在梁体轨道上行走的取料斗的安全运行,并可能直接影响高炉生产的原料供应.为了研究和解决取料斗可能发生的脱轨事件,保证安全,需要检测大梁变形情况,以便能对其进行有目的的检修和维护.该梁体外形为长约 35 m,高约 3 m 的倒梯形箱状物体(见图 1),离地约十多米高.厂方要求测定其四条轨道 A,B,C,D 的平整度、直线度、轨距和挠度,对其腰部 E,F 一带的平整度也要进行测定,精度要求在 ± 5 mm 内,图 1 中 $a_1 a_9$ 为 A 轨道,$b_1 b_9$ 为 B 轨道,$e_1 e_9$ 为大梁腰部 E 的位置.同时为了不影响生产,检测工作也只能在生产间歇进行.根据要求,采用电子全站仪法与近景摄影测量相结合的方法,用两种方法主要是为了发挥各种方法的长处,互相补充,以达到对设备大梁进行全面检测,提高测量精度及可靠性.本文就近景摄影测量法检测大型匀矿机变形进行介绍,对该方法进行精度分析,并与电子全站仪法测量的结果进行比较.

1 检测过程

众所周知,近景摄影测量的优点是对无法接近、难于到达的物体能方便地进行测量,同时在摄影瞬间能将被摄物体的瞬间形态永久保留,供重复测量和研究使用[1].此外,对不规则物体表面进行的扫描式连

收稿日期:2001 - 12 - 10
作者简介:程效军(1964 -),男,江西乐平人,教授,工学博士.

万方数据

续测量也是它的优点之一.而这些正是常规测量法的不足之处.匀料取矿机大梁离地较高，仅能直接到达其顶部；又是运行中的设备，仅能作短暂停留以供测量，观测现场过后则不再保留；同时厂方对其变形情况也要求作几何性的描述.在用电子全站仪法时，仅能取其有限截面、有限点进行一次性观测.对其变形情况也仅能利用这些离散点进行粗略的几何描述.针对电子全站仪法的不足以及厂方不能长时间停产的状况，采用近景摄影测量对梁体上难以攀援的部分如轨道 C，D 及腰部 E，F 进行测量，以及在 9 个截面 9 排点间进行大量变形点的加密，同时对电子全站仪测量的数据进行全面检查.

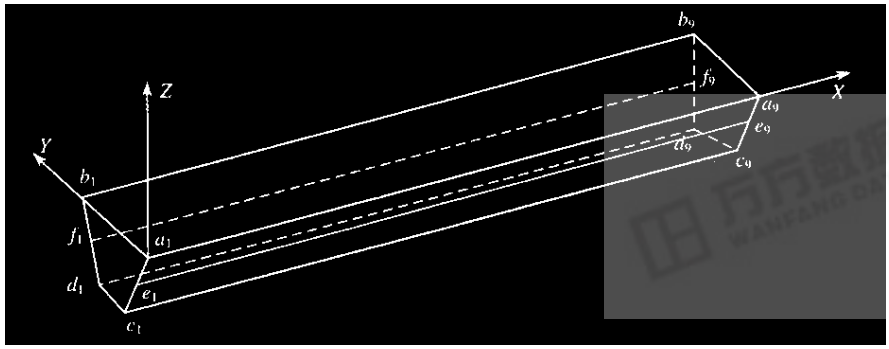


图 1　大型匀矿机梁体外形示意图

Fig.1　Features of big mineral machine

1.1　摄影现场的布置

场地控制布置如图 2 所示，围绕设备大梁布置一四边形控制网，四个控制基点 101，102，103，104.各基点建立具有强制归心的观测墩，对四边形控制网用 NET2B 型精密电子全站仪（测距精度为 $\pm(0.8\ \text{mm}+10^{-6}D)$，$D$ 为距离，mm，测角精度 $\pm 2''$）按全部边角网测量，平差计算出各控制点的坐标.大梁两侧各设 5 个摄站 S1—S5，S6—S10（如图 3 所示），各个摄站点的位置也由全站仪精确测定.摄影时采用三联脚架法，消除对中误差.梁体上沿各轨道和腰线各布置 9 个检测点和检查点，位置即是如图 1 所示的 a_1-a_9，b_1-b_9，c_1-c_9，d_1-d_9，e_1-e_9 和 f_1-f_9 变形观测点.在这些点上设置标志.这些点的物方坐标用电子全站仪测定.经过精度分析用电子全站仪 NET2B 测定的变形观测点的点位中误差都在 ± 2 mm 内.摄站到梁体的摄影距离为 24 m，这样布置场地是基于精度及所用仪器的考虑.摄影测量中影响精度的主要因素是外方位元素误差，其中摄站的空间坐标 X_S，Y_S，Z_S 的误差可通过用电子全站仪、强制对中及三联脚架法确定控制点和摄站点等控制在较小范围内.根据精度要求及精度分析，使用的 19/1318 型摄影经纬仪焦距为 190 mm，在摄影距离不超过 24 m 时由外方位角元素引起的物方点在物方坐标系中的点位误差在 ± 4 mm 之内，所以取摄影距离为 24 m.

1.2　摄影

摄影是在梁体两侧设立的 5 个摄站上进行，如图 3 所示.在各摄站都采用正直、等偏和交向多种方式多重摄影，使得梁体各部分至少被摄到 5 次.增加多余观测，是为了提高精度和数据的可靠性.摄影前摄影经纬仪经过严格检定；摄影时进行仔细整平和瞄准，控制水准管气泡偏差不超过半格，定向角度偏差不超过 $30''$；减少人为误差.摄影用的干板负片为天津厂的紫外Ⅱ型.

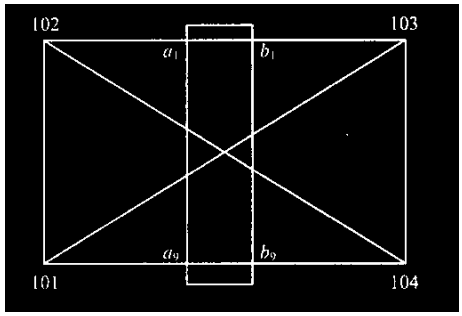


图 2　控制网布设图形

Fig.2　Network of control points

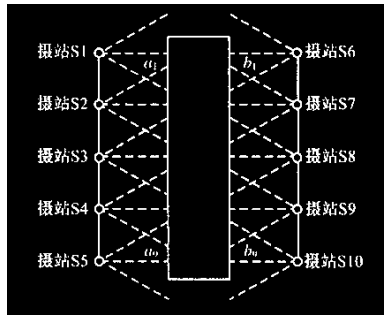


图 3　摄站位置示意图

Fig.3　Station of photograph

万方数据

1.3 像片坐标量测

采用国产 1818 坐标量测仪进行像片坐标量测.由于像片量测误差也是一主要误差源,所以量测时也应尽量精确.该仪器左右视差手轮 p 可量至 ± 0.005 mm 的精度,较之坐标量测仪 x,y 之间的移动手轮 ± 0.02 mm 的精度高得多,故一律用视差手轮 p 进行单片坐标量测,同时直接对玻璃负片进行量测,以减少像片变形误差.

1.4 大型匀矿机梁体变形点的三维坐标计算

对于正直、等偏和交向多种摄影方式,可以采用一套通用公式来计算变形点的三维坐标[2]:

$$X = B_t \frac{x_t}{p_t},\ Y = B_t \frac{f}{p_t},\ Z = B_t \frac{z_t}{p_t} \tag{1}$$

上式中 x_t, z_t, p_t, B_t 可按下式计算:

$$x_t = f\frac{a_1 x + a_2 f + a_3 z}{b_1 x + b_2 f + b_3 z},\ z_t = f\frac{c_1 x + c_2 f + c_3 z}{b_1 x + b_2 f + b_3 z},\ p_t = x_t - x_{右} \tag{2}$$

$$B_t = B\left(\cos\varphi - \frac{x_{右_t}}{f}\sin\varphi\right) \tag{3}$$

式中:x,z 为左像片的坐标;$p = x - x_{右}$ 为左右视差;B 为基线的水平距离;f 为像片焦距,a_1,b_1,c_1 为像片坐标轴与纠正像片坐标轴之间的方向余弦;φ 为摄测坐标系的 X 轴相对基线的旋转角.

因梁体的各部分至少被拍摄到 5 次,因此按公式(1) ~ (3)对正直、等偏和交向多种摄影形式分别计算出变形点的三维坐标,最后把差值 ± 5 mm 以内的重复点取其算术平均值作为该点的近景摄影测量结果,通过比较,可以发现正直摄影方式得出的坐标更接近于全站仪测量的结果.

2 精度分析

由公式(1)按照误差传播定律可得近景摄影测量测定变形点空间坐标中误差的近似估算式为

$$m_X = \sqrt{\left(\frac{Y x_t}{B_t f}\right)^2 m_{B_t}^2 + \left(\frac{Y}{f}\right)^2 m_{x_t}^2 + \left(\frac{Y^2 x_t}{B_t f^2}\right)^2 m_{p_t}^2} \tag{4}$$

$$m_Y = \sqrt{\left(\frac{Y}{B_t}\right)^2 m_{B_t}^2 + \left(\frac{Y}{f}\right)^2 m_f^2 + \left(\frac{Y^2}{B_t f}\right)^2 m_{p_t}^2} \tag{5}$$

$$m_Z = \sqrt{\left(\frac{Y z_t}{B_t f}\right)^2 m_{B_t}^2 + \left(\frac{Y}{f}\right)^2 m_{z_t}^2 + \left(\frac{Y^2 z_t}{B_t f^2}\right)^2 m_{p_t}^2} \tag{6}$$

近景摄影测量中影响精度的主要因素是外方位元素误差,其中摄站坐标 X_S,Y_S,Z_S 的误差可通过精密测量控制在很小的范围内.用公式(4) ~ (6)进行精度分析,使用的 19/1318 型摄影经纬仪焦距为 190 mm,在摄影距离不超过 24 m 时由外方位元素引起的物方点在物方坐标系中的点位误差在 ± 4 mm 之内[3],某个点计算了多次取其算术平均值作为结果,则精度还可以提高.比较根据近景摄影测量所得的数据与用电子全站仪 NET2B 测得的相同变形点的坐标见表 1,表 1 中 X,Y,Z 为近景摄影测量所得的数据,D_X,D_Y,D_Z 为近景摄影测量所得的数据与用电子全站仪测得的相同的坐标差,M_0 为点位中误差,从表中数据可以看出两者之间的最大的点位中误差没有超过 ± 3.5 mm,这与精度分析的结论相同,同时也满足厂方提出的精度要求.

表 1 近景摄影测量结果与电子全站仪 NET2B 测得结果比较(以某一轨道为例)

Tab.1 Comparison between close – range photograph and total station(NET2B) method(as an example of a track)

点号	X/m	Y/m	Z/m	D_X/mm	D_Y/mm	D_Z/mm	M_0/mm
a_1	2 024.487 6	1 975.055 8	17.898 9	1.5	2.4	1.6	3.25
a_2	2 020.888 1	1 975.051 6	17.873 4	1.6	2.3	1.4	3.13
a_3	2 017.290 1	1 975.051 2	17.857 8	1.2	2.6	1.5	3.23
a_4	2 013.688 2	1 975.055 9	17.844 0	1.3	2.4	1.7	3.22
a_5	2 010.091 8	1 975.056 0	17.834 7	1.7	2.5	1.3	3.29
a_6	2 006.487 1	1 975.055 1	17.835 4	1.0	2.2	1.6	2.90
a_7	2 002.890 2	1 975.053 1	17.837 2	1.8	2.1	1.5	3.15
a_8	1 999.287 2	1 975.053 5	17.845 4	1.6	2.4	1.2	3.12
a_9	1 995.695 6	1 975.052 2	17.853 9	1.5	2.6	1.5	3.36

万方数据

3　结论

(1) 根据近景摄影测量的结果,可以计算各轨道的平整度、直线度、轨距和挠度,并且利用 AUTOCAD 绘制出各轨道的平整度、直线度、轨距和挠度图形,厂方根据测量的结果以及设计数据,对匀矿机进行大规模的维修,经过维修后该匀矿机又能安全正常地运转.

(2) 近景摄影测量由于其快速(速度可比常规测量方法提高一倍以上)、准确以及能测量到难以到达的目标,且像片可以作为历史文件保存,因此可广泛应用于大型工业设备及房屋建筑等方面的检测.

(3) 进行近景摄影测量时对拍摄距离有较高的要求,距离越远点位误差越大,且点位误差在摄影机的景深方向明显偏大.

(4) 采用近景摄影测量与电子全站仪相结合的方法进行大型工业设备的检测,可以充分发挥两者的优势,一方面利用电子全站仪精确快速地测定一小部分点位的坐标作为近景摄影测量的控制点,而近景摄影测量可以快速测定大量的难以到达的目标点的三维坐标.

(5) 近景摄影测量既能量测固定的目标,又能量测活动和变形的目标、甚至复杂的形状和运动目标,随着数字图像处理技术的不断发展,近景摄影测量的应用前景将会变得更加广泛[4].

参考文献:

[1] 冯文灏.非地形摄影测量[M].北京:测绘出版社,1985.
[2] 王之卓.摄影测量原理[M].北京:测绘出版社,1984.
[3] 黄筱蓉,周光文.外方位元素误差对点位误差的影响[J].铁路航测,1996,(1):1-4.
[4] 张祖勋,张剑清.数字摄影测量[M].武汉:武汉测绘科技大学出版社,1997.

·下期文章摘要预报·

支持变型设计的装配模型建模方法

贾伟新,齐从谦

提出产品结构变型主要有纵向布局结构变化和横向布局结构变化两种基本形式.在装配模型层次化的基础上,将'顶层基本骨架'作为自顶向下设计建模时传递信息的纽带,以 Pro/ENGINEER 为技术平台,提出适应快速变型设计要求的装配模型的建模方法,从而实现产品的变型设计和系列化设计.

低成本高故障覆盖率内建自测试方案

李立健,赵瑞莲

提出了一个基于重复播种的新颖的 BIST(build-in self-test)方案.它使用侦测随机向量难测故障的测试向量作为种子,并利用种子产生过程中剩余的随意位进行存储压缩.通过最小化种子的测试序列以减少测试施加时间.实验表明,本方案需要外加硬件少,测试施加时间较短,而故障覆盖率高,近似等于所依赖的 ATPG 工具的故障覆盖率.

万方数据