

普通高等教育测绘类规划教材

近景摄影测量

——物体外形与运动状态的摄影法测定

冯文灏 编著

武汉大学出版社



普通高等教育测绘类规划教材

近景摄影测量

——物体外形与运动状态的摄影法测定

冯文灏 编著

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

近景摄影测量:物体外形与运动状态的摄影法测定/冯文灏编著. —武汉:武汉大学出版社,2002.2

普通高等教育测绘类规划教材

ISBN 7-307-03445-X

I. 近… II. 冯… III. 近景摄影测量 IV. P234.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 002269 号

责任编辑:王金龙 责任校对:黄添生 版式设计:支 笛

出版:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:wdp4@whu.edu.cn 网址:www.wdp.whu.edu.cn)

发行:新华书店湖北发行所

印刷:湖北省孝感日报社印刷厂

开本:787×1092 1/16 印张:14.625 字数:349千字

版次:2002年2月第1版 2002年2月第1次印刷

ISBN 7-307-03445-X/P·32 定价:21.00元

版权所有,不得翻印;凡购我社的图书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

内 容 提 要

本书系统而全面地阐述近景摄影测量的基本原理、设备方法与应用。主要包括:近景摄影测量的理论基础,近景摄影测量的摄影设备与摄像设备,近景摄影测量的摄影技术与控制,基于共线条件方程式的各种解析处理方法的原理与分析,直接线性变换解法的原理与分析,其他具有特点的近景摄影测量解析处理方法以及与近景摄影(摄像)机检校有关的理论与方法。全书理论系统完整,联系实际应用,内容丰富,充分反映当代近景摄影测量的水平。本书可作为测绘工程专业本科生的基础教材,也可供本专业的研究生、研究人员以及相关的其他专业工作者参考使用。

前 言

近景摄影测量是通过摄影(摄像)和随后的图像处理及摄影测量处理以获取被摄目标形状、大小和运动状态的一门技术。凡可摄取其影像的目标,均可作为近景摄影测量的对象,以获得目标上点群的三维空间坐标,以及基于这些三维空间坐标的长度、面积、体积、等值线(剖面线)等。在同时记载时间信号的情况下,还可获取运动目标的运动状态,即获取运动目标(点)的速度、加速度和运动轨迹等。

与其他测量手段相比,近景摄影测量的优点在于它兼有非接触性量测手段,不伤及被测物体,信息容量高,信息易存储,可重复使用信息,精度高,速度快,特别适用于测量容有大批量点位的目标,躲蔽危险环境而远离摄影对象等众多优点。

数十年来世界各国的研究与实践表明,几乎所有民用或军用部门均使用过近景摄影测量技术。目前此技术已广泛应用于各类建筑工程、机械制造、航空航天技术、船舶制造、汽车制造、城市区域规划、地质、采矿、冶金、化工、医学、生物、古建筑与古文物研究、考古乃至音乐器材、美术作品研究等国民经济部门。

需要测量其外形的摄影目标,可以是石窟雕刻、考古现场、飞机外形、水轮机叶片形状、车祸现场、人体或其器官的外形、细胞和花粉的几何结构、船体乃至风帆的形状、汽车或集装箱牌号的快速识别等。相比较地,需要测量其运动状态的摄影目标,可以是优秀运动员各关节的运动轨迹与分析、机器人(手)运动的跟踪、材料的冲击与拉伸试验、金属切削过程研究、可控的各类工业爆炸过程的记录、焊接机理研究以及枪炮弹出膛及运动状态的分析等。

1985年出版的教科书《非地形摄影测量》基本上是1980年原武汉测绘学院出版的教材《非地形摄影测量》的“复印本”。20年来此学科已得到飞跃发展,我们也积累了更多的教学经验并取得了很多科研成果,现今为大学本科生和研究生重新编著的本书取名为“近景摄影测量”,一是适应当前国际的习惯称呼;二是在内容与结构上已有非常明显的质变。本书力求达到内容丰富、反映当前世界先进技术水平、注重系统性、用黑体给出重要专业术语定义、理论结合实际等教科书应具备的种种特点,同时也希望本著作能成为近景摄影测量工作者和相关的其他专业工作者的专业参考文献。为了增强其他专业人员对本学科的了解,书中补充了摄影测量的一些基本概念与知识。

本教材共分两册,这里先行出版的是上册。下册共有十三章,另行出版,其内容包括模拟法近景摄影测量的应用、解析法近景摄影测量的应用、数字近景摄影测量与其应用、激光扫描系统与其应用、含CCD的多传感器系统、高速影像的三维测量处理、X射线影像的三维摄影测量处理、水下摄影测量、光学与电子显微摄影测量、镜面摄影测量、结构光摄影测量与其应用、莫尔条纹影像的图像处理与摄影测量处理,以及动态目标轨迹的摄影测量记录等。使用本书作为教学资料时,教师可依学时和需要自由摘选适宜的章节内容。

感谢 20 余年来与我从事近景摄影测量教学与研究的各方人士的支持与帮助。感谢李欣副教授为本书精心绘制了插图。本人专业水平有限,诚挚地欢迎读者指正。

冯文灏

2001 年 5 月

目 录

第一章 绪 论	1
§ 1.1 概述	1
§ 1.2 近景摄影测量常用坐标系	8
§ 1.3 像片的内方位元素与外方位元素	9
§ 1.4 共线条件方程式	11
§ 1.5 共面条件方程式	14
第二章 近景摄影测量的摄影设备	18
§ 2.1 量测摄影机的摄影测量性能	18
§ 2.2 量测摄影机	19
§ 2.3 格网量测摄影机	24
§ 2.4 半量测摄影机	25
§ 2.5 立体量测摄影机	28
§ 2.6 非量测摄影机	31
第三章 近景摄影测量的摄像设备	36
§ 3.1 固态摄像机基本知识	36
§ 3.2 关于电荷耦合器件 CCD 的一般知识	37
§ 3.3 线阵 CCD 图像传感器	39
§ 3.4 面阵 CCD 图像传感器	39
§ 3.5 CCD 摄像机的分类	41
§ 3.6 固态摄像机的结构	45
§ 3.7 固态摄像机的性能指标	46
§ 3.8 Nikon 公司 E2N 型数字照相机	48
§ 3.9 柯达 DCS 型系列数字摄像机	50
§ 3.10 MATCH-1 型数字摄影测量系统	52
§ 3.11 UMK-SCAN 型摄影测量系统	52
§ 3.12 HSV-1000 型高速视频摄像机	53
§ 3.13 殷卡摄像机	54
§ 3.14 Rollei Q16 型量测摄像机	55
§ 3.15 普通数码相机	56
§ 3.16 夜视器	57

§ 3.17	Finepix S1 Pro 型数码相机	57
第四章	近景摄影测量的摄影技术	60
§ 4.1	近景摄影测量的两种基本摄影方式	60
§ 4.2	正直摄影方式的精度估算	62
§ 4.3	交向摄影方式的精度估算	65
§ 4.4	多重交向摄影的精度估算	68
§ 4.5	景深与曝光时间的确定	69
§ 4.6	立体像对的摄取方法	71
§ 4.7	运动物体的同步摄影方法	73
§ 4.8	被测物体的表面处理	74
§ 4.9	照明	75
§ 4.10	摄影方案的制定	77
§ 4.11	人工标志	81
第五章	近景摄影测量的控制	86
§ 5.1	关于近景摄影测量控制的一般概念	86
§ 5.2	控制点的一般测量方法与精度分析	89
§ 5.3	特高精度工业测量控制网的建立方法	93
§ 5.4	室内控制场	99
§ 5.5	活动控制系统	103
§ 5.6	一些特殊控制方法	106
§ 5.7	相对控制的应用	108
第六章	基于共线条件方程式的近景像片解析处理方法	115
§ 6.1	基于共线条件方程式的像点坐标误差方程式的一般式	115
§ 6.2	近景摄影测量的多片空间前方交会解法	120
§ 6.3	近景摄影测量单像空间后方交会解法	123
§ 6.4	近景摄影测量的光线束平差解法概述	124
§ 6.5	控制点坐标视作真值且实地不测外方位元素的光线束平差解法	126
§ 6.6	无控制点且外方位元素视作观测值的光线束平差解法	130
§ 6.7	控制点坐标以及外方位元素均视作观测值的光线束平差解法	134
§ 6.8	含相对控制的光线束平差解法	137
§ 6.9	近景摄影测量的解析自检校光线束平差解法	138
第七章	直接线性变换解法	141
§ 7.1	直接线性变换解法的基本关系式	141
§ 7.2	直接线性变换解法中内、外方位元素以及 ds 和 $d\beta$ 的求解	145

§ 7.3	直接线性变换解法的解算过程	149
§ 7.4	使用直接线性变换解法的一些技术问题	152
§ 7.5	二维与一维直接线性变换解法	155
§ 7.6	带约束条件的直接线性变换解法	158
第八章	近景摄影测量的其他解析处理方法	162
§ 8.1	基于共面条件方程式的近景摄影测量解析处理方法	162
§ 8.2	基于角锥体原理的空间后方交会—前方交会解法	163
§ 8.3	基于角锥体原理的又一种空间后方交会解法	169
§ 8.4	基于平行线相对控制的空间后方交会解法	173
§ 8.5	移位视差法	178
第九章	近景摄影机的检校	184
§ 9.1	检校内容、检校方法分类与内方位元素检定精度要求	184
§ 9.2	近景摄影机的光学畸变差	187
§ 9.3	底片压平误差与底片变形误差	193
§ 9.4	框标理论坐标的确定	195
§ 9.5	基于空间后方交会的摄影机检校	198
§ 9.6	基于直接线性变换的摄影机检校	201
§ 9.7	检校光学畸变差的解析铅垂线法	201
§ 9.8	引入约束条件的立体视觉系统的检校	202
§ 9.9	摄影机的单站解析自检校法	207
§ 9.10	摄影机偏心常数 EC 的测定	209
§ 9.11	立体量测摄影机的实验场检校	211
§ 9.12	主距与主距差的测量与标定	213
§ 9.13	两台摄影机快门同步精度的检查与校正	213
参考文献	215

第一章 绪 论

§ 1.1 概 述

一、近景摄影测量的定义

近景摄影测量是摄影测量与遥感(Photogrammetry and Remote Sensing)学科的一个分支。通过摄影手段以确定(地形以外)目标的外形和运动状态的学科分支称为近景摄影测量(Close-range Photogrammetry)。包括工业、生物医学、建筑学以及其他科技领域中的各类目标是此学科分支的研究对象。

也有人认为,把摄影距离大约小于100m的摄影测量应称之为近景摄影测量。

二、近景摄影测量目标的多样性

近景摄影测量,即各类物体外形和运动状态的摄影测量,已广泛应用于科学技术的各个领域。原则上说,凡是可获取其影像的各类目标,都可以使用近景摄影测量的相关技术,以某种精度测定它的形状、大小和运动参数。此技术已用于工业、生物医学和建筑学的众多基础研究和应用研究的各个方面。据世界各国的应用情况表明,现几乎找不到未使用近景摄影测量技术的行业。

三、近景摄影测量较之其他三维测量手段有如下的一些优点

(1)它是一种瞬间获取被测物体大量物理信息和几何信息的测量手段。作为信息载体的像片或影像含有被测目标最大的信息(可重复使用的信息,容易存贮的信息),特别适用于测量点众多的目标。

(2)它是一种非接触性量测手段,不伤及测量目标,不干扰被测物自然状态,可在恶劣条件下(如水下、放射性强、有毒缺氧以及噪音)作业。

(3)它是一种适合于动态物体外形和运动状态测定的手段,是一种适用于微观世界和较远目标的测量手段。

(4)它是一种基于严谨的理论和现代的硬软件,可提供相当高的精度与可靠性的测量手段,随处理方法以及技术手段和资金投入大小不同,测量精度有所变化,可提供千分之一至百万分之一的相对精度。

(5)就当前发展而言,它是一种基于数字信息和数字影像技术以及自控技术的手段,使实时近景摄影测量正日益广泛地深入工业生产流程中,成为工业产品分类、导向、监测、装配和自动化生产的重要组成。

(6)可提供基于三维空间坐标的各种产品,包括各类数据、图形、图像、数字表面模型以及三维动态序列影像等。

四、近景摄影测量的缺陷

像所有测量技术一样,近景摄影测量也有它的不足与缺陷:

(1)技术含量较高,需要较昂贵的硬设备投入和较高素质的技术人员,设备的不足以及技术力量的欠缺均会导致不良的测量成果。

(2)对所有测量对象不一定是最佳的技术选择:衡量一个技术的适用性,至少要从提供成果的质量、速度精度、所需的投入(包括硬软设备投入、技术人员投入和资金投入)等几个方面予以审度。因此,当被测目标是如下一些类型时,就不一定选择近景摄影测量方案。

①不能获取质量合格的影像:被测目标纹理匮乏,不尽适宜的摄影环境,难以寻得适宜的摄影机或摄像机;

②目标上待测点为数不多,可用其他简易测量方法实施。

五、现有各类三维测量方法的比较

除近景摄影测量外,对物体进行三维测量的方法还有多种,它们各有优点和缺陷。

1. 基于测距测角的工程测量

基于测距和测角的工程测量技术,在理论、设备和应用诸方面都已相当成熟。市场上较好的全站仪,其方向测角精度达到 $\pm 0.5''$,测距精度达到 $\pm (0.5\text{mm} + 1\text{ppm} \times D)$,而且可以多机联机、自动改正多种系统误差以至自动跟踪单个动态目标点。加之最小明视距离可达到 $1.0 \sim 2.0\text{m}$,所以可用于工业目标的高精度测量,它也是近景摄影测量中实施控制测量的主要手段。

本方法特别适用于稀疏目标点的高精度测量,但不适用于目标点密集的物体,更不适用于目标点众多且处于运动状态的物体,也不能用于水下目标、微观目标的测量。

2. 大型三维坐标量测设备

一些大型精密机床厂、轿车厂配备有三维坐标量测设备,这种设备的核心部分是能在三个坐标轴(导轨)方向运动并记载三维坐标的量测头。例如,量测小型目标的日本 Mitutoyo 公司生产的 BEYOND 710 型三维坐标量测机,如图 1-1-1,是一种手工操作坐标量测装置,量测范围 $700\text{mm} \times 1\,000\text{mm} \times 600\text{mm}$,分辨率为 $0.5\mu\text{m}$,实际精度为 $\pm (4 + 5L/1000)\mu\text{m}$ 。又如,量测大型目标的日本 Mitutoyo 公司生产的 CHN 1612 型联机坐标量测机,量测范围 $3\,000\text{mm} \times 4\,000\text{mm} \times 5\,000\text{mm}$,分辨率 $1\mu\text{m}$,实际精度为 $\pm (40 + 50L/1000)\mu\text{m}$,如图 1-1-2。此等设备精密,原理简单,现代型号者大多与计算机直接相联,因而后续数据处理规范、合理先进。而设备昂贵、仅能测量小于它的静态物体、测量费用较高以及工作效率较低是其明显缺陷。

3. 基于光干涉原理的测量设备

基于光干涉(Moiré)原理的等值条纹的生成过程异常简易,特别适用于动态对象的快速连续记录。例如动物体表的形状变化、机床震动记录以及音响设计中喇叭膜的震动记录等。投影法莫尔条纹的生成更为自由,适应性更强。但是,此方法仅适于表面起伏不明显的平缓目标,而且对被测物表面色调的一致性有较高的要求。

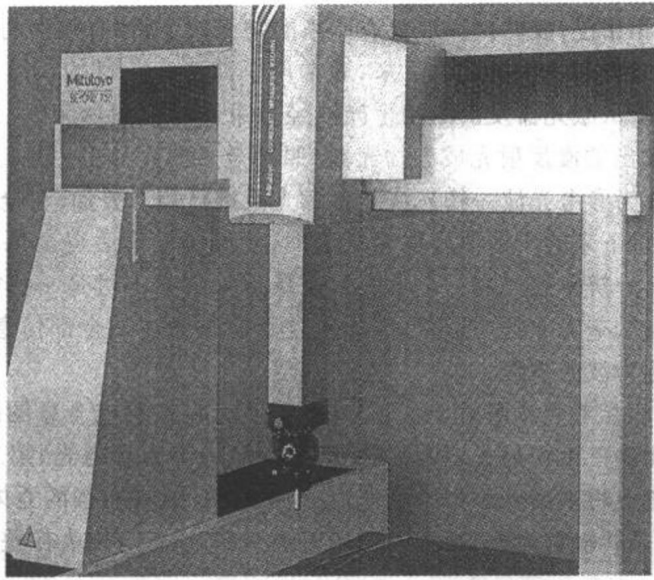


图 1 - 1 - 1 BEYOND 710 型三维坐标量测机

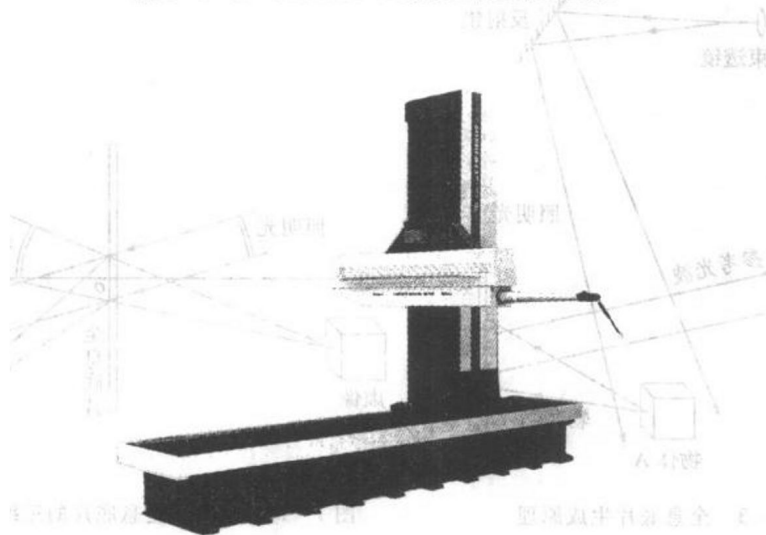


图 1 - 1 - 2 CHN 1612 型三维坐标量测机

牛顿环是一种干涉条纹,常用以检验光学元件的表面加工质量。当以单色光源垂直照射光学元件和衬托它的平面玻璃时,则在它们中间的空气薄层上形成以接触点为中心的中央稀疏边缘稠密的圆环条纹——牛顿环。以显微镜量测此圆环条纹的间距后,依据相当简易的关系式,可以计算元件不同部位的加工精度,精确到 $0.01\mu\text{m}$ 。牛顿环法精度高,设备简易,但仅适用于纵深不大的小部件(如光学元件)的测量。

4. 全息技术(Holography)

全息技术是一种同时记录光波的振幅(光强)信息和相位信息并使光波重现的技术。

普通单张感光片只能记录光波的振幅(光强),不能记录相位,因而所得底片不能真实

地重现原来的物光波,单张图像无立体感。用全息技术制作的全息底片同时记录了光波的全部信息——振幅和相位,故能真实地重现原来的物光波,图像有极强的立体感。为使只能记录光强的感光片能把相位信息记录下来,通常用干涉法达此目的。图 1-1-3 是制作全息底片的一种装置。从激光器发出的相干光波经分束器后分成两束,一束经扩束后用来自照明物体 A,从 A 上发出的漫反射光成为物光波,照到全息感光片上;另一束经扩束和准直后也照到感光片上,称为参考光波。物光波和参考光波进行相干叠加,在全息感光片上形成干涉条纹。感光片记录下来的干涉图样称为全息图,经显影处理后得全息底片。由于干涉条纹很密,必须采用高分辨率感光片。全息底片记录下来的只不过是一些需在显微镜下才能看清的复杂干涉条纹,毫无原物的形象,但却包含了原物光波的全部信息,适当条件下可把物光波重现出来,称为波前重现。

当把原来所用的参考光波照射全息底片时,照明光将在组成全息图的干涉条纹上产生衍射,产生彼此分离的三束衍射光,如图 1-1-4。第一束为直射光,第二束是重现的物光波,在原来物的位置上将观察到原物的虚像,它毫无像差,且有很强的立体感,就像观察真实物体一样。第三束是共轭物光波,形成原物的三维实像,通常有很大像差。

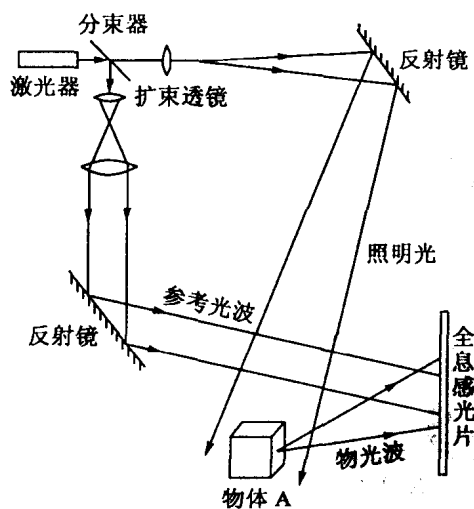


图 1-1-3 全息底片生成原理

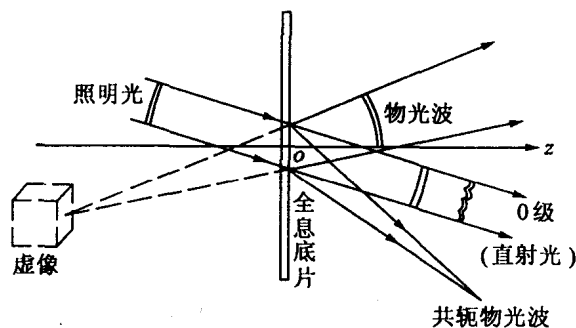


图 1-1-4 基于全息底片的三维影像生成原理

制作全息底片有多种方式,全息技术除用上述全息照相外,在干涉计量、信息存储、光学滤波和光学模拟计算等方面均有广泛应用。生成全息底片以及立体影像重现,需要极稳定的平台与环境,未能得到各类目标三维测量的广泛应用的原因也在于此。

5. 光截面摄影测量

借用激光经纬仪,借助显微状态下的有限清晰距离原理以及借助某种生成截面的缝光源 (Slit Light) 设备,均可在被测物体上生成等深(或等远)的截面,以摄影方法记录这些截面影像并设法测定第三坐标的技术可统称为光截面摄影测量。光截面摄影测量技术以原理清晰,特别适合于缺乏纹理目标和微观目标为其明显优点。但本方法仅适用于照度低的目标。

6. 基于磁力场的三维坐标量测设备

美国 POLHEMUS 公司生产的三维数字化器 (3 SPACE DIGITIZER), 如图 1-1-5, 是利

用电磁转换技术(Electro-magnetic Transducing Technology),在被测物体周围生成磁场,借一手工操作的触杆,可逐点量测非金属目标的三维空间坐标,如图1-1-6。测量目标最大尺寸1.5m,坐标量测精度 $\pm 0.8\text{mm}$,采样频率最高为60点/秒。数据可直接进入计算机。此仪器用于人体体积测量、关节角度关系测量以及生物等值线生成等方面。该公司的另一型号产品三维跟踪仪(3SPACE TRACKER),利用多个传感触头联接到动态目标的不同部件,用于动态监测,如头部运动跟踪,步态与四肢运动分析等。使用此技术,不必保持被测点与仪器间明确的“视线”,也不受声音与激光设备的影响。在生物医学界和航天领域可得到应用。

此类设备操作简易,设备价位相对低廉,但仅用于非金属的小型目标,且精度有限。

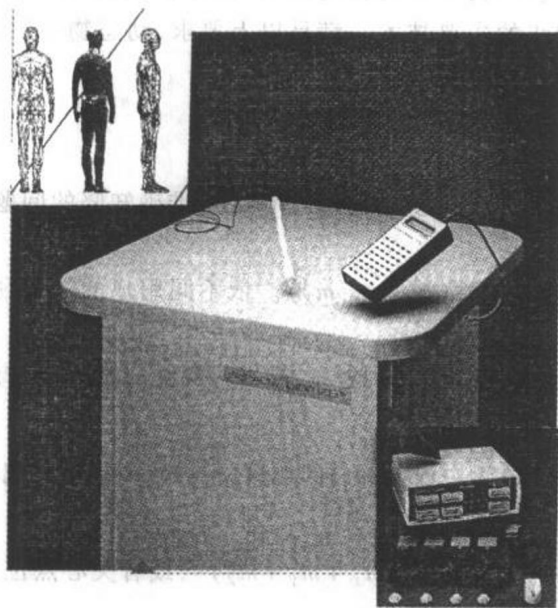


图1-1-5 基于磁力场的一种三维数字化器

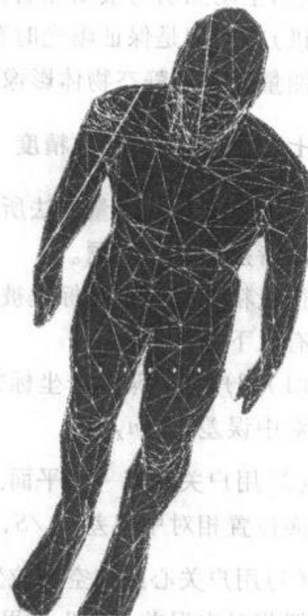


图1-1-6 一种三维数字化成果

六、物体运动状态的摄影测量原理

现代科技的发展,使人们逐渐关注物体的运动状态。现列举一些实例:

- (1) 枪炮弹出膛的速度;
- (2) 导弹运动的轨迹;
- (3) 试验水池中舰艇模型的运动轨迹;
- (4) 呼吸引起的人体腹腔外表面运动状态;
- (5) 机器人众关节运动状态的记录及与设计参数差异的测定;
- (6) 空中加油时两架飞机油嘴相对位置的测定;
- (7) 晶体生成全过程的记录;
- (8) 机械部件震动过程的测定;
- (9) 电火花运动轨迹的测定;

- (10) 爆炸全过程的定量记录;
- (11) 昆虫起跳过程的详尽记载;
- (12) 优秀运动员动作的动态分析;
- (13) 咀嚼过程的摄影测量记录;
- (14) 伞兵着陆前某时段运动过程的测定。

物体运动状态的测定,以摄影(摄像)测量的方法最为适宜和直观,其资金与人员的投入也相对较低。

物体运动状态摄影测量测定的关键技术,是影像获取瞬间准确时刻的确定,以及立体像对两影像(甚至是多重覆盖影像)获取时刻的同步技术的保证。时间记录技术、频闪照明技术(包括主动照明与被动照明技术)、同步快门技术以及各类快速乃至高速摄影机(含高速摄像机)的使用是保证曝光时刻记录和同步的主要技术。满足以上要求,动态物体影像的摄影测量处理与静态物体影像的处理并无原则区别。

七、近景摄影测量的精度

某种近景摄影测量方法所能提供的精度是近景摄影测量工作者应准确知晓的问题,更是用户特别关心的问题。

衡量精度的基本指标是被测点的坐标中误差(m_x, m_y, m_z)。依不同用户的需要,指标可能有以下几种变化:

(1) 用户关心某一个坐标方向的坐标中误差,如 m_x 或 m_y 或 m_z , 或关心某一方向的点位相对中误差,如 m_z/Z 。

(2) 用户关心某一个平面上点位的平面位置中误差 m_s , 例如 $m_s = (m_x^2 + m_y^2)^{1/2}$ 。或者关心平面位置相对中误差 m_s/S , 这里 S 是被测物的平面尺寸。

(3) 用户关心点位空间位置中误差 m_r , 这里 $m_r = (m_x^2 + m_y^2 + m_z^2)^{1/2}$, 或者关心点位的空间位置相对中误差 m_r/T , 这里 T 是被测物的空间尺寸。

统计近景摄影测量的精度,应从估算精度、内精度和外精度三个方面进行。

估算精度是在现场工作之前,在近景摄影测量网的设计阶段,根据摄影、控制、网形、设备和一些设计参数的具体情况,按理论的精度估算式获得。

内精度则是在摄影测量的数字处理阶段,按解算未知数的方程组的健康程度,直接计算而得。内精度的容易获取是经常使用此种方法的原因,但内精度在极大程度上仅与摄影测量网形有关,即仅与解算未知数的线性方程组的构成有关,它不能客观地反映测量成果的质量,大多数情况下其精度指标好于实际精度。

外精度检查方法是一种能给出客观精度的指标方法。最常用的方法是使用较大量的多余控制,包括多余控制点或多余相对控制。依据控制点的“实测坐标”,使之与近景摄影测量坐标相比较,并据以统计坐标中误差和坐标误差的分布。这里,常将控制点的“实测坐标”认作真值。“实测坐标”是根据精度高一等级的测量方法获得。这些控制点的数量应足够多,且应分布在被测目标各个有代表性的部位。多余相对控制,也可用于检查精度。例如,物方布置的多条已知长度,即是常用的一种既简易又比较客观的检验方法。这些多条已知长度应尽量长,应布置在坐标轴的不同方向。近景摄影测量中布置多余控制点或多余相

对控制是相对容易的,它不同于航空(航天)摄影测量那样困难。

八、近景摄影测量与航空摄影测量的比较

一方面,近景摄影测量与常规航空摄影测量在基本理论方面,不论是在模拟处理方法、解析处理方法以及数字影像处理方法方面,还是在某些摄影测量仪器的使用方面,均有很多相通之处。另一方面,与常规的以测制地形图为主要目的的航空摄影测量相比较,近景摄影测量又存在自身的一些特点:

- (1)以测定目标物之形状和大小为目的,而不注重目标之绝对位置;
- (2)目标物的大小,目标物距摄影机的距离以及目标物的测定精度等方面差别悬殊;
- (3)产品形式多种多样;
- (4)对特定目标有特定的物空间坐标系以及特定控制方式的选择,包括各种相对控制的应用;
- (5)控制点的布局可能有特殊要求,控制点和待定点大多是人工标志点,为系统误差的消除提供了有利条件;
- (6)各类非量测用摄影机的应用,以及相应的特殊的理论与处理方法;
- (7)测量动态目标,包括快速运动目标,运动状态的测定;
- (8)目标物纵深尺寸与摄影距离的比值可能很大;
- (9)不少测量目标以单个像对为处理单位,但也有一些测量目标是以“航线”或“区域网”为处理单位,甚至需要环绕目标物进行“包围”摄影并进行后续的摄影测量处理;
- (10)有时采用交向摄影、倾斜摄影等大角度大重叠度的多重摄影方式;
- (11)完成任何一种近景摄影测量任务,几乎无一例外地需要近景摄影测量工作者与该任务相关的学科专业人员的协商与通力合作;
- (12)通常需要近景摄影测量工作者完成从优化设计、控制、摄影机选择、摄影到图像处理和摄影测量处理的全部工作。

概括以上的比较,特别是对近景摄影测量的自身特点进行分析之后,我们认识到:在近景摄影测量的理论方面以及实际作业中都有一系列特殊问题值得注意与研究。

九、影响近景摄影测量精度的因素

对某项工程的精度要求,由近景摄影测量工作者与工程的负责人协商而定。

影响近景摄影测量精度的主要因素很多,主要有:

- (1)影像获取设备(摄影机或摄像机)的性能,包括它的检校水准,焦距与视场角的大小,安置、记录或测定其外方位元素的性能,摄影机所用底片的质量,摄像机的分辨率等;
- (2)摄影方式,包括摄影比例尺,摄站的数量与分布,摄影基线的长短,交会角的大小,对被测点的摄影覆盖次数等;
- (3)控制的质量,包括控制点的数量与分布,控制点自身的精度,相对控制的应用情况等;
- (4)被测物体的照明状态,标志的设计与使用,被测物体表面处理的水准等;
- (5)后续处理硬软件的性能,包括图像处理方法和摄影测量处理方法的选择、摄影测量仪器的性能、数据解析处理方法的选择等。

还可以从另一个角度简要地讨论影响近景摄影测量精度的因素:

- (1) 像点坐标的质量,即形成影像的摄影机性能和它的检校水准,像点坐标的质量,系统误差的改正程度;
- (2) 摄影条件、摄影方式与控制方式;
- (3) 图像处理及摄影测量处理的硬软件性能。

十、近景摄影测量的发展现状

近景摄影测量的发展,在国际上已有五六十年的历史。国际摄影测量与遥感协会(International Society for Photogrammetry and Remote Sensing)下属的一个专门组织,称之为近景摄影测量与机器视觉(Close Range Photogrammetry and Machine Vision)委员会。在它的组织下,每两年召开一次国际性的学术讨论会。

近景摄影测量,在国内近十余年有较大发展。中国测绘学会摄影测量与遥感委员会负责协调学术交流工作。

国际上,把近景摄影测量的主要用途归结为三个方面:

- (1) 古建筑与古文物摄影测量(Architectural and Archaeological Photogrammetry);
- (2) 生物医学摄影测量(Beo-medical Photogrammetry);
- (3) 工业摄影测量(Industrial Photogrammetry)。

十一、本书重点介绍近景摄影测量的有关理论与技术,并提供一些典型的应用实例

此外,本书还介绍“非常规影像”的摄影测量处理技术,它们包括:

- (1) 结构光摄影测量;
- (2) 高速摄影测量;
- (3) 电子显微镜影像的摄影测量处理;
- (4) 水下摄影测量;
- (5) X 射线摄影测量;
- (6) 莫尔条纹测量技术;
- (7) 镜面摄影测量;
- (8) 自动图像(Motography)测量技术。

为了其他学科人员阅读上的方便,在本章随后几节里将介绍摄影测量的一些基本知识,其主要内容是中心投影条件下像点坐标与物方空间坐标的基本关系。

§ 1.2 近景摄影测量常用坐标系

国内外数十年中,摄影测量的各个分支,包括航空摄影测量、地形地面摄影测量以及近景摄影测量,曾应用过名目繁多的各种坐标轴系。为了清晰起见,本书自始至终使用一种在我国惯用的坐标系统。

近景摄影测量中常用的坐标系统有三种:

- (1) 物方空间坐标系 $D\text{-}XYZ$,用于形容被测目标的空间形状或运动状态,例如某物方点 A 的空间坐标 (X, Y, Z) ;