

数字近景工业摄影测量 理论、方法与应用

黄桂平 著



科学出版社

数字近景工业摄影测量 理论、方法与应用

黄桂平 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书系统总结作者近十五年来的相关教学与科研成果,构建了数字近景工业摄影测量系统的理论与技术体系,以期推动工业摄影测量技术在我国的大型结构与工程及先进装备制造业中的应用。全书共分 11 章。第 1 章对数字近景工业摄影测量的发展现状、趋势等方面进行阐述。第 2 章全面系统地论述数字近景工业摄影测量的理论基础。第 3 章介绍数字相机与近景摄影。第 4 章介绍图像特征的提取、定位与识别。第 5 章与第 6 章分别介绍数字相机系统的内、外部参数标定。第 7 章介绍同名像点自动匹配。第 8 章介绍测量误差分析与精度估计。第 9 章介绍工业摄影测量系统设备校准。第 10 章介绍数字近景工业摄影测量应用实例。第 11 章介绍其他基于图像的测量技术与应用。全书理论体系完整,试验充分、联系实际应用,内容丰富,充分反映了当代数字近景工业摄影测量技术水平。

本书可作为摄影测量、测绘工程及相关专业本科生和研究生的选修教材,以及光学测量、视觉检测、测控技术及仪器专业学生的参考教材,也可供精密测量领域的相关工程技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

数字近景工业摄影测量理论、方法与应用/黄桂平著. —北京:科学出版社,2016. 1

ISBN 978-7-03-046430-9

I. ①数… II. ①黄… III. ①工程测量-数字摄影测量-近景摄影测量
IV. ①P231.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 282734 号

责任编辑:苗李莉 朱海燕 / 责任校对:何艳萍

责任印制:肖 兴 / 封面设计:图阅社

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016 年 1 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2016 年 1 月第一次印刷 印张:20 1/2

字数:483 000

定价:129.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

大尺寸空间三维坐标测量技术是大型装备、重工制造与精密工程安装检测的基础支撑技术之一,也是目前精密测量技术快速发展与研究的热点问题。而其中具有高精度、非接触、便携、快速等诸多优点的数字近景工业摄影测量技术,其发展之快速、应用之广泛更是吸引了越来越多的科研技术人员对其理论、方法与应用的关注与研究。

数字近景工业摄影测量是现代工业测量技术的一种新方法,是传统测绘学中的近景摄影测量技术与仪器科学中的视觉测量技术相互交叉、融合发展而来的。它是通过在不同的位置和方向获取同一物体的 2 幅以上的数字图像,经计算机特征提取、图像匹配等自动化处理及相关数学计算后得到待测点精确的空间三维坐标。就目前世界各国的研究与实践表明,数字近景工业摄影测量的应用领域不断发展,该技术已广泛应用于各类建筑工程、重工制造、航空航天、地质、冶金、化工、医学,以及古建筑、文物的研究等各个行业领域部门。尤其在发展中国家,各种重大基础装备工业以及大型工程的快速发展,使其具有更广阔的应用前景。

在我国测绘界大多学者对近景摄影测量的研究主要集中在常规工程测量领域,而对工业产品测量的关注和研究较少;而其相近的计算机视觉学科界学者则更关注对图像的理解和识别而较少关注量测问题。所以结合测绘学科发展和大尺寸工业产品三维坐标测量的实际需求而进行研究,这对国民经济的发展具有现实意义。为此,急需编著一本内容新颖并具有理论意义和工程实践背景的数字近景工业摄影测量方面的专著,以反映数字近景工业摄影测量技术在工业测量系统领域的应用现状、关键理论问题及发展趋势等,为教学、科研和工程应用提供参考。

本书不仅在基本知识、基础理论与方法方面进行了系统性梳理,而且力求内容新颖并切合实用。其内容多为作者及其研究团队近年来所做的大量研究与工程应用工作所取得的一系列研究成果经总结与提炼而成的,同时也吸收了部分国内外同行的相关研究成果。期望本书的出版能够起到切实作用,推动我国数字近景工业摄影测量的理论研究与实践应用更进一步发展。全书共分 11 章。第 1 章从大尺寸三维测量的概念、需求、分类及数字近景工业摄影测量的发展现状、趋势等方面进行阐述。第 2 章全面系统地论述数字近景工业摄影测量的理论基础,对常用坐标系的定义及转换、共线及共面方程的推导、双像解析的相对定向与绝对定向及多摄站交会几何的定义、空间点三维坐标测量与解算、参数近似值计算,以及光束法平差参数最优解算等进行详细讨论,并对其中基于单相机多张像片三维坐标测量、参数近似值的解算,以及光束法平差解算方法等进行重点讨论。第 3 章介绍数字相机的分类及其参数描述、工业摄影测量标志的分类及特性、摄影辅助光源的种类、近景摄影的要求,以及多相机间同步摄影与控制方式等。第 4 章阐述图像标志点高精度特征提取与定位的常用方法以及特征标志图像的滤波参数设置等,也对编码标志自动识别原理等进行讨论。第 5 章讨论像点的系统误差模型并进行实验分析,重点对两种常用的相机内部参数标定方法的理论进行论述并做了试验验证。第 6 章介绍多相机系统外

部参数标定方法,尤其对一维、二维靶的虚拟点集控制场理论方法等进行探讨并做实验分析。第7章介绍同名像点自动匹配的基本原理与方法,主要包括基于核线、区域、特征、相位、有驱动及物方空间点等的匹配方法。第8章讨论数字近景工业摄影测量的误差来源及影响测量精度的几何因素,并重点讨论像点中心坐标准确性对测量精度的影响,单、双相机的测量精度估计及其精度的详细测试等方面。第9章阐述工业摄影测量系统设备校准方法,对基准尺长度标定、相机测量重复性及相机外符合精度测试等方面进行不同方法的比较验证,并给出国产摄影测量系统校准方法建议。第10章阐述分别在单、双相机不同测量模式下的测量技术实践应用。第11章介绍其他基于图像的测量技术与应用概况,包括二维影像量测仪、光学投影三维扫描测量、粒子图像摄影测量及结构光摄影测量。

本书内容是作者现在和过去的团队近15年来研究成果的总结,是集体智慧的结晶,凝聚着课题组全体老师和学生的心血。作者是在恩师李广云教授的指导、帮助和支持下才得以开国内工业摄影测量技术研究的先河,在王保丰、范生宏、冯其强、卢成静、于英、范亚兵、陈铮、钦桂勤、王伟峰、轩亚兵等众多硕士、博士研究生(详见附录1)共同参与下才得以开展和积累,马开锋、王伟峰、李明慈参与了本书资料的整理工作,轩亚兵对全书进行了整理与排版。在此向他们致以由衷谢意!

由于著者水平所限,书中难免有不妥之处,殷切希望读者批评指正。



2015年7月于郑州
华北水利水电大学

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 大尺寸三维测量现状	1
1.2 数字近景工业摄影测量	9
1.3 本书主要内容.....	13
参考文献	14
第 2 章 数字近景工业摄影测量理论基础	16
2.1 不同坐标系间的坐标转换.....	16
2.2 单张像片摄影几何.....	17
2.3 双像解析几何.....	20
2.4 多摄站交会几何.....	23
2.5 空间点三维坐标测量与解算.....	23
2.6 参数近似值计算.....	37
2.7 光束法平差参数最优解算.....	43
参考文献	71
第 3 章 数字相机与近景摄影	73
3.1 数字相机.....	73
3.2 工业摄影测量标志.....	77
3.3 摄影辅助光源.....	89
3.4 数字近景摄影.....	90
3.5 多相机间同步摄影与控制.....	93
参考文献	95
第 4 章 图像特征提取、定位与识别	97
4.1 图像特征处理基本方法.....	97
4.2 圆形标志点图像特征提取	103
4.3 圆形标志点图像中心定位	113
4.4 线(条)特征提取与中心定位	118
4.5 编码标志图像自动识别	122
4.6 特征标志图像质量检验	131
参考文献.....	133
第 5 章 数字相机内部参数标定	137
5.1 像点的系统误差模型	138

5.2	常用相机内部参数标定方法	148
5.3	试验场法标定	150
5.4	光束法自标定	154
	参考文献	157
第6章	多相机系统外部参数标定	159
6.1	实体控制场外部参数标定	160
6.2	虚拟点集控制场外部参数标定	161
	参考文献	173
第7章	同名像点自动匹配	174
7.1	像点匹配技术概述	174
7.2	核线匹配	176
7.3	区域匹配	178
7.4	特征匹配	184
7.5	相位匹配	189
7.6	圆形标志像点自动匹配策略与过程	190
7.7	有驱动点匹配	198
7.8	物方空间点的匹配	204
	参考文献	208
第8章	测量误差分析与精度估计	210
8.1	测量误差来源分析	210
8.2	像点中心坐标准确性对精度影响	211
8.3	影响精度的几何因素	217
8.4	精度估计	221
8.5	精度测试	230
	参考文献	242
第9章	数字近景工业摄影测量系统校准	245
9.1	工业摄影测量系统校准规范概况	245
9.2	基准尺长度标定方法研究	252
9.3	相机测量重复性研究	258
9.4	相机外符合精度测试	261
9.5	国产摄影测量系统校准方法建议	264
	参考文献	264
第10章	数字近景工业摄影测量应用实例	265
10.1	测量模式及其技术特点	265
10.2	基于单相机多摄站摄影测量的技术应用	266
10.3	基于双相机固定位置测量的技术应用	277
	参考文献	287

第 11 章 其他基于图像的测量技术简介	288
11.1 二维影像量测仪	288
11.2 光学投影三维扫描测量	293
11.3 粒子图像摄影测量	298
11.4 结构光摄影测量	306
参考文献	311
附录	313

第 1 章 绪 论

1.1 大尺寸三维测量现状

1.1.1 大尺寸三维测量的基本概念

大尺寸三维测量被测绘科学领域的专家和学者称为工业测量。工业测量是指在工业生产、试验和科研各环节中,为产品的设计、模拟、测量、放样、仿制、仿真、质量控制和运动状态,提供测量技术支撑的一门学科(冯文灏,2004;李广云和李宗春,2011)。

广义的测量按照应用领域可以分为土木工程测量和工业工程测量,传统测绘中的(工程)测量主要是指土木工程测量,故在工程测量方法和技术拓展应用到工业工程中后,测绘科学与技术领域的专家、学者就顺势提出了工业测量的概念和定义,以有别于传统的工程测量。

传统工业工程中的测量问题是仪器科学与技术学科中的测试计量技术及仪器(二级学科)研究的内容。其研究内容主要针对十大基本量开展的,包括几何量(长度、角度、坐标)、热工、力学、电磁、无线电、时间频率、声学、光学、化学和电离辐射。本书中所指的工业测量研究内容主要是针对几何量开展的,测量对象的尺寸常常比较大(几米至几十米),故称之为大尺寸三维测量。

1.1.2 大尺寸三维测量的需求

随着现代工业的发展,尤其是以数字制造为核心的先进制造技术的迅猛发展,对精密测量技术提出了新的要求:精密测量技术一方面要为先进制造技术担负起质量技术保证的重任;另一方面又不能单纯为检测而检测,还要为产品生产效益的提高贡献力量(叶声华等,2000;熊有伦,2003)。

传统制造业中的测量大多是“事后”测量,也即是在生产过程后被动的抽查式测量。而现代先进制造技术的一个理想目标就是要实现零废品制造,不仅零部件的质量要用测量来保证,而且加工的设备以及整机的装配质量都需要精密测量来保证。目前,在很多行业和领域(如汽车制造业)测量已深入到生产过程中进行在线检测,在一些大型工程中需要现场检测;在逆向工程(reverse engineering)中,测量不再仅仅是“服务”行业,已成为整个先进闭环制造过程中一个不可缺少的关键环节(许智钦和孙长库,2002;叶声华等,1999;谢华锬和段建英,2004),如图 1.1 所示。

与其他技术一样,测量的方式、方法正向多样化发展。对几何量测量来说,其测量尺度正在向两个极端——小尺寸方向和大尺寸方向发展。小尺寸方向正在进行微米测量和纳米测量的研究与应用;大尺寸测量主要指“几米至几百米范围内物体的空间位置、尺寸、

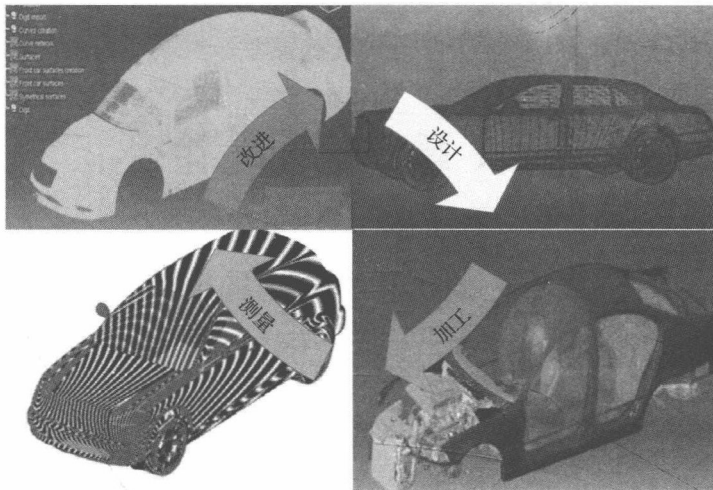


图 1.1 先进闭环制造系统示意图

形状、运动轨迹等的测量”(张国雄和裘祖荣,2004),这也是本书所关心和研究的重点。因此,大尺寸三维测量也可以称为大尺寸测量、大尺寸三坐标测量(吴晓峰和张国雄,2006;马骊群等,2006)。

近年来,由于我国国民经济的快速发展,在航空、航天、电子、汽车、造船、通信、核工业、水利水电、武器装备等行业和领域中的生产和工程中都已对大尺寸测量提出了期望和明确要求,如飞船推进舱测量($\phi \approx 3\text{m}$)、飞机桁架测量(20m 以上)、导弹总装测量(7~10m)、大型水轮机座环测量($\phi \approx 12\text{m}$)、大型天线测量(10~50m)、大型飞机测量(40~70m)等(李广云,2000;李广云和李宗春,2011)。

1.1.3 大尺寸三维测量设备及分类

大尺寸测量内容主要包括角度、长度、位移、直线度和空间位置等量的测量,其中最通用和普及的就是确定位置的三维坐标测量,而其他一些待测量均可以对坐标进行一定的计算间接得到。目前,可以实现大尺寸三维坐标测量的设备按照所使用的主要传感器可以分为以下八大类(黄桂平和钦桂勤,2007;李广云和李宗春,2011)。



图 1.2 LAMBDA SP 型 CMM

1. 三坐标测量机

CMM 是传统通用三维坐标测量仪器的代表,通过测头沿导轨的直线运动来实现精确的坐标测量。它的优点是测量准确、效率高、通用性好;其不足是属于接触式测量方式、不易对准特征点,对测量环境要求高、不便携、测量范围小(张国雄,1999)。目前, Brown & Sharpe 公司生产的 LAMBDA SP 型龙门式巨型坐标测量机的最大测量空间达到了 $3\text{m} \times 10\text{m} \times 2\text{m}$,如图 1.2 所示。

2. 经纬仪测量系统

经纬仪测量系统是由两台或两台以上的高精度电子经纬仪(如 Leica T3000,水平角和垂直角的测角精度皆为 $0.5''$)构成的空间角度前方交会测量系统,是大尺寸测量领域应用最早和最多的一种系统,由电子经纬仪、基准尺、通信接口和联机电缆及微机等组成,如图 1.3 所示。在国内,解放军测绘学院自 20 世纪 80 年代末就在此方向开展了大量的研究与应用(李广云等,1994),天津大学的罗明等(1996)和熊春宝和叶声华(1998)等也在此方向进行了研究。

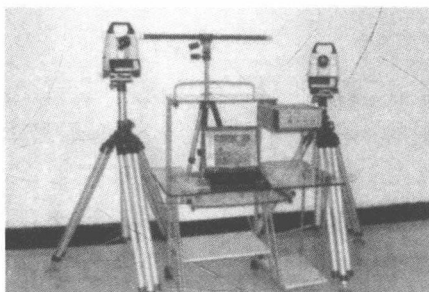


图 1.3 MetroIn 经纬仪测量系统

经纬仪测量系统的优点是测量范围较大(2m 至几十米),是光学、非接触式测量方式,测量精度比较高,在 20m 范围内的坐标精度可达到 $10\mu\text{m}/\text{m}$;其不足是一般采用手动照准目标,逐点测量,测量速度慢、自动化程度不高。但目前已出现了带马达驱动的电子经纬仪(如 Leica TM5100A),在重复测量时可不需人眼瞄准目标、实现自动化测量。

自从 20 世纪 80 年代开始许多厂家都相继推出了多个商业化的系统,如 Leica 公司到目前为止推出的系统就有 RMS2000、ManCAT、ECDS3 和 Axyz/MTM 等,郑州测绘学院于 1999 年研发出了国产化的测量系统 MetroIn,国产化的商业系统 SMN 在 2008 年由郑州辰维科技股份有限公司推出(郑州辰维科技股份有限公司,2008)。

3. 全站仪测量系统

全站仪是一种兼有电子测角和电子测距的测量仪器。其坐标测量原理最为简单,是空间极(球)坐标测量的原理,如图 1.4 所示,它是测绘行业应用最广和最通用的一种坐标测量机。

早在 1990 年之前,瑞士 Leica 公司就推出了商业化系统 PCMSplus,其全站仪采用 TC2002,测角精度为 $0.5''$,测距标称精度为 $1\text{mm}+1\text{ppm}$ ^①。目前,被称为测量机器人的带自动照准和自动识别目标(ATR)技术的全站仪(如 TDA5005,见图 1.5)已出现并广为应用(范百兴,2004)。

全站仪坐标测量系统只需单台仪器即可测量,因此仪器设站非常方便和灵活,测程较远,特别适合于测量范围大的情况,Leica TDA5005 构成的系统在 120m 范围内使用精密角偶棱镜(CCR)的测距精度能达到 0.2mm ;日本 SOKKIA 公司推出了 MONMOS 全站仪测量系统,采用 NET1200 全站仪在 100m 范围内对反射片测量精度优于 0.7mm 。由于一般必须要合作目标(如棱镜或反射片)才能测距,所以它无法直接测量目标点;测距固定误差的存在,使其在短距离($<20\text{m}$)测量时相对精度较低。虽然目前已出现了无需棱镜测距的全站仪(如 Leica TCR1102),但测距精度均很低,低于 3mm 。

^① $1\text{mm}+1\text{ppm}$ 是对 $1\text{mm}+1\text{ppm}\times D(\text{千米})$ 的缩写,ppm 是百万分之一的意思

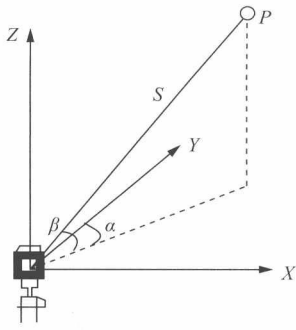


图 1.4 空间极(球)坐标测量的原理

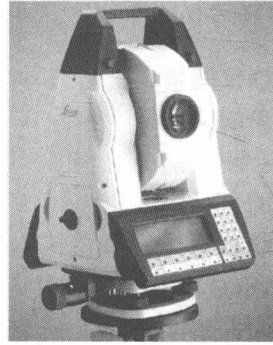


图 1.5 TDA5005 全站仪

4. 激光跟踪测量系统

激光跟踪测量系统是由单台激光跟踪仪构成的球坐标测量系统,其测量原理和全站仪一样,仅仅是测距的方式(单频激光干涉测距)的不同。实际测量时又可以分为单站距离、角度法和多站纯距离法(图 1.6)。

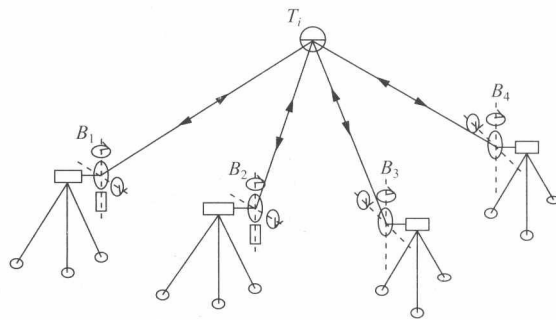


图 1.6 多站距离交会测量

Leica 公司于 1990 年就推出了第一代商用激光跟踪测量系统 SMART310,美国的 API 公司和 FARO 公司也相继推出了各自的系统,如图 1.7 所示。

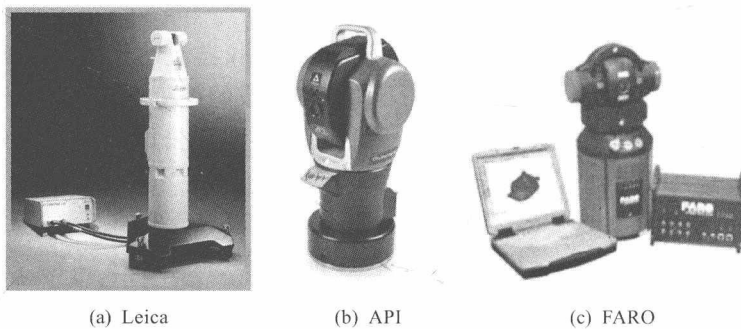


图 1.7 商用激光跟踪测量系统

由于干涉法距离测量的精度高,测量速度快,因此激光跟踪仪的整体测量性能和精度

要优于全站仪。在测量范围内(一般 $<50\text{m}$),坐标重复测量精度达到 5ppm (即 $5\mu\text{m}/\text{m}$);绝对坐标测量精度达到 10ppm (即 $10\mu\text{m}/\text{m}$)。但在单项指标上,如测角精度比全站仪的要低,测量范围也比全站仪要小(陈继华,2001)。

5. 激光扫描测量系统

前文所提的激光跟踪测量系统具有测距精度高的特点,但是测距为相对测距,需要在跟踪过程中激光束不能丢失,另外测距需要合作目标(反射器)配合,因此是一种接触式的测量系统,往往给测量带来诸多不便。

采用其他非干涉法测距方式可以不需要合作目标来实现距离的测量,将这类系统称为激光扫描测量系统。激光扫描仪的测距原理分为三种:一是脉冲法激光测距;二是激光相位法测距;三是激光三角法测距(黄桂平和钦桂勤,2007)。

基于脉冲法测距的激光扫描仪精度较低,一般为毫米级,但其测程较长,如 Leica 公司的 HDS3000 型激光扫描仪(最大测程 100m ,测距精度为 4mm ,曲面建模精度优于 2mm ,图 1.8),故其主要应用在土木工程测量、文物和建筑物的三维测绘等领域。

相位法测距的精度和调制频率有关,一般全站仪的测距频率最高为 $50\sim 100\text{MHz}$,但美国 Metric Vision 公司推出的激光雷达扫描仪(laser radar scanner)LR200 的则达到 100GHz ,它在 10m 距离上绝对距离测量精度可以达到 0.1mm ,测量范围为 $2\sim 60\text{m}$,如图 1.9 所示。

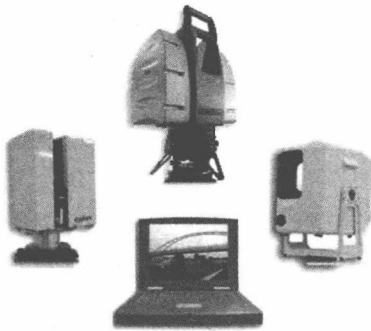


图 1.8 激光扫描仪 HDS

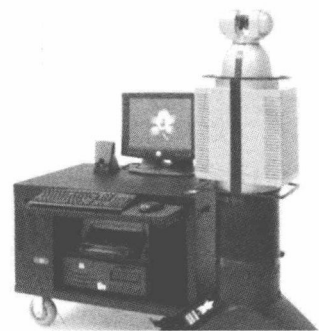


图 1.9 激光雷达扫描仪 LR200

基于激光三角法测距原理的扫描测量系统又称结构光扫描仪(structured light scanner)。以半导体激光器作光源,使其产生的光束照射被测表面,经表面散射(或反射)后,用面阵电荷耦合器件(charge coupled device, CCD)摄像机接收,光点在 CCD 像平面上的位置将反映出表面在法线方向上的变化,即点结构光测量原理(图 1.10)。

目前,世界上生产各种型号结构光扫描仪的厂家很多,如德国 GOM 公司的 ATOS 系列、德国 Steinbichler 公司的 Comet、德国 Breuckmann 公司的 optoTOP-HE、法国 Mensi 公司的 S10/S25 等。法国 Mensi 公司的 S10 扫描仪(图 1.11)扫描距离为 $0.8\sim 10\text{m}$,扫描精度优于 0.2mm ,三维建模精度优于 0.05mm ,图 1.12 是 S10 扫描某坦克后得到的实体的三维点云。

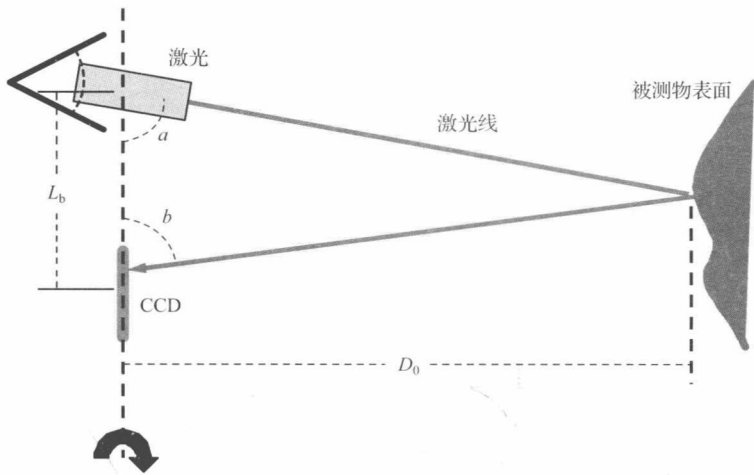


图 1.10 激光三角法测距原理示意图



图 1.11 Mensi 的 S10 激光扫描仪

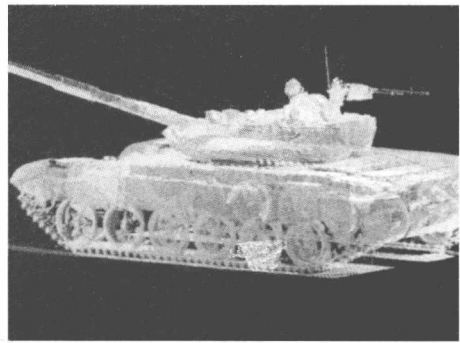


图 1.12 坦克的三维点云图

激光扫描仪可以获取海量的点云数据,尤其适用于实体的三维建模,其不足之处在于无法对某一特定的点进行精确测量(不好精确瞄准特征点)。

6. 关节式坐标测量机

关节式坐标测量机是一种便携的接触式测量仪器,对空间不同位置待测点的接触实际上模拟人手臂的运动方式。仪器由测量臂、码盘、测头等组成(图 1.13),各关节之间测量臂的长度是固定的,测量臂之间的转动角可通过光栅编码度盘实时得到,转角读数的分辨力可达 $1.0''$,测头功能同三坐标测量机,甚至可以通用。

关节式坐标测量机利用空间支导线的原理实现三维坐标测量功能,它也是非正交系坐标测量系统的一种。和三坐标测量机比较,关节式坐标测量机的测头安置非常灵活,和其他光学测量系统比较,它不需要测点的通视条件,因此在一些测点通视条件较差的情况下(隐藏点)非常有效,如汽车车身内点的测量等。但由于关节臂长的限制,它的测量范围有限(最长可以到 4m),但可以采用“蛙跳”的方法(公共点坐标转换法),或附加扩展测量导轨支架的方法来扩大其测量范围(李广云和李宗春,2011)。

目前生产关节式坐标测量机的厂家较多,主要有美国 Faro 公司和 ROMER 公司、德

国 ZettMess 公司、意大利的 Garda 公司等。

有些厂家正在采用在其测头上附加小型结构光扫描仪来实现对工件的三维快速扫描,称为激光扫描测量臂。这种系统集成接触式与非接触式系统优点于一体,图 1.14 是 Faro 公司的产品 ScanArm。



图 1.13 关节式坐标测量机

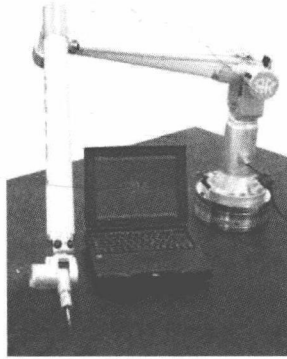


图 1.14 激光扫描测量臂 ScanArm

7. 室内 GPS

所谓室内 GPS 是指利用室内的激光发射装置(基站)不停地向外发射单向的带有位置信息的红外激光,接收器接收到信号后,从中得到发射器与接收器间的两个角度值(类似于经纬仪的水平角和垂直角),在已知基站的位置和方位信息后,只要有二个以上的基站就可以通过角度交会的方法计算出接收器的三维坐标。基站的位置和方位通过光束法来进行系统定向后完成,这样不需要已知控制点,只要一个基准尺度就可以了。

与 GPS 不同的是,室内 GPS 采用室内激光发射器来模拟卫星;它不是通过距离交会,而是用角度交会的方法。与经纬仪系统不同的是,它不是通过度盘来直接测量角度,而是通过接收红外激光来间接得到角度值,因而就不再需要人眼去瞄准待测点了。

美国 Arc Second 公司(现已被尼康计量集团收购)生产的室内 iGPS,其测量速度达到了 20Hz,测量空间范围从几米到几百米,如果采用四个以上的基站,10m 测量空间内测量精度可以达到 0.125mm。目前,天津大学研制的 wMPS(图 1.15)已经初步应用于国内某型飞机大部件的装配与水平测量(薛彬等,2014)。

8. 数字近景工业摄影测量系统

摄影测量(photogrammetry)在工业测量和工程测量中的应用一般称为近景摄影测量或非地形摄影测量。它经历了从模拟、解析到数字方法的变革,硬件也从胶片相机发展到数字相机。本书将针对工业测量应用的数字近景摄影测量(digital close-range photogrammetry)称为数字近景工业摄影测量。

数字近景工业摄影测量(digital close-range industrial photogrammetry)是通过在不同的位置和方向获取同一物体两幅以上的数字图像,经计算机图像匹配等处理及相关数学计算后得到待测点精确的三维坐标。其测量原理和经纬仪测量系统一样,均是三角形交会法。

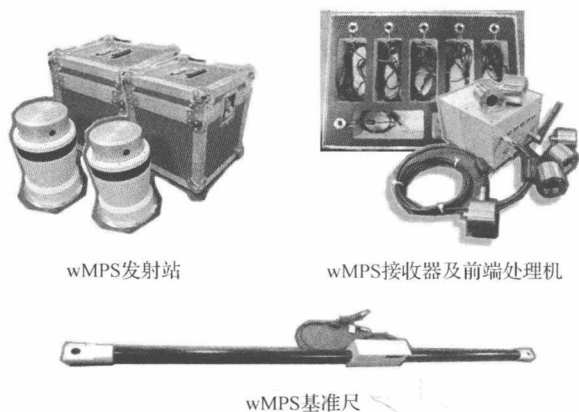


图 1.15 天津大学研发的 wMPS

数字近景工业摄影测量系统一般分为单相机的脱机测量系统、多台相机的联机测量系统,如图 1.16 所示。此类系统与其他类系统一样具有精度高、非接触测量和便携等特点。此外,还具有其他系统所无法比拟的优点:测量现场工作量小、快速、高效和不易受温度变化、振动等外界因素的干扰。国外的生产厂家和产品很多,如美国 GSI 公司的 V-STARS 系统、挪威 Metronor 公司的 Metronor 系统(图 1.17)、德国 AICON 3D 公司的 DPA-Pro 系统[图 1.16(a)],以及郑州辰维科技公司的 MPS 系统(图 1.18)等。



图 1.16 数字近景工业摄影测量系统

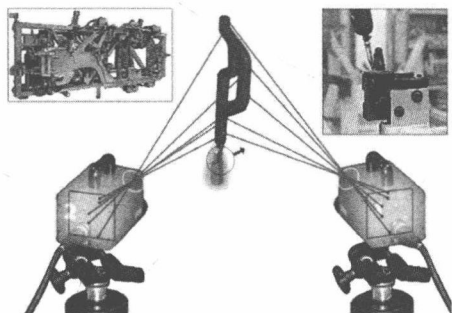


图 1.17 Metronor 系统



图 1.18 MPS 系统

1.2 数字近景工业摄影测量

1.2.1 数字近景工业摄影测量的发展

摄影测量是一门通过分析记录在胶片或电子载体上的影像,来确定被测物体的位置、大小和形状的科学。它包括很多分支学科,如航空摄影测量、航天摄影测量和近景摄影测量等。其中,近景摄影测量是指测量范围小于100m、相机布设在物体附近的摄影测量(冯文灏,2002)。

近年来,随着微电子和半导体技术的飞速发展,尤其是固体阵列相机和计算机硬件的发展,使得近景摄影测量已进入全数字近景摄影测量时代。

数字近景摄影测量的发展历史可以概括为五个不同特征的时期:基础阶段的早期;初进入数字阶段的逐步发展期;进入数字阶段的全面发展时期、稳步研究和加大推广应用的深入发展期和新近的成熟期(Atkinson,1996)。

1964~1984年是数字近景摄影测量早期阶段,这一时期的研究成果主要是奠定了数字近景摄影测量的理论基础,包括图像处理算法、误差理论、CCD器件的研究及应用、模板匹配算法与多张像片的同时处理技术等,因此有人将这个时期称为数字近景摄影测量的婴儿期。

1984~1988年是初进入数字阶段的逐步发展期,开始逐渐研发出许多数字近景摄影测量系统,尽管很少是实用的,但在系统的设计、开发、标定等方面为后续的研发奠定了基础。1986年6月在加拿大的渥太华召开的国际摄影测量与遥感大会(ISPRS)的年会上,数字近景摄影测量成为第五委员会的主题之一;1987年6月在瑞士Interlaken召开的ISPRS年会,是第一次单独以数字摄影测量为主题的国际会议;1988年在日本京都召开的第16届ISPRS大会上,第五委员会被正式改名为“近景摄影测量与机器视觉”(close range photogrammetry and machine vision),大量的文章都是关于数字近景摄影测量的。

1988~1992年,数字近景摄影测量步入全面发展时期,越来越多的研究者在此方向进行研究和系统开发,出现了许多成功的应用报道,而且应用领域大大拓宽了(如工业测量、生物立体测量、流量测量、汽车碰撞实验测量和空间探测等)。这一时期显著的特点有:①在学术研究和商业系统方面,全自动测量系统数量继续增加;②应用领域及行业大大拓宽;③与计算机视觉(computer vision)等其他学科的交流开始变多,相互间在学术会议及论文出版等方面互为支持。

1992~1996年,数字近景摄影测量的研究和开发不再像前一阶段那样不断出现新成果和新发现,而是处于更加稳步的发展,业内更多的关注是拓展应用和成型系统的市场推广。已有的老公司推出新的数字化产品(如美国GSI公司在1994年对模拟测量系统进行改造后推出了数字测量系统V-STARS),也新出现了许多很专业化的小公司和新系统(如挪威Metronor公司的Metronor系统、加拿大EOS公司的PhotoModeler系统、德国AICON 3D公司DPA-Pro系统)。一系列的会议论文集公开出版(El-Hakim,1992;Gruen and Kahmen,1993;Atkinson,1994;Atkinson,1996),表明数字近景摄影测量技术和研究已趋于成熟。