

GEOROBOT

熊春宝 杨俊志 编著

测地机器人



测绘出版社



测地机器人

Georobot

熊春宝 杨俊志 编著

测绘出版社

• 北京 •

© 熊春宝 杨俊志 2011

所有权利(含信息网络传播权)保留,未经许可,不得以任何方式使用。

内 容 提 要

本书较全面、系统地论述了测地机器人(跟踪全站仪)的测距、测角原理、误差源及其检定方法。主要包括全站仪的分类与发展现状,最新测距、测角原理,系统偏差及其改正方法,动态性能的检定设备与方法、测地机器人的应用,等等。

本书可供广大计量检定人员和测绘专业技术人员、研究人员学习参考;并可作为测绘专业大专院校、本科生、研究生的教材和参考书。

图书在版编目(CIP)数据

测地机器人 / 熊春宝, 杨俊志编著. —北京: 测绘出版社, 2011.1

ISBN 978-7-5030-2189-3

I. ①测… II. ①熊… ②杨… III. ①机器人技术—应用—大地测量 IV. ①P22-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 248602 号

责任编辑 杨蓬莲

封面设计 李 伟

责任校对 董玉珍 李 艳

出版发行 测绘出版社

地 址 北京西城区三里河路 50 号

邮政编码 100045

电子信箱 smp@sinomaps.com

印 刷 北京建筑工业印刷厂

成品规格 169mm×239mm

印 张 10.5

版 次 2011 年 1 月第 1 版

印 数 0001—1000

电 话 010—68531160(营销)

010—68531609(门市)

网 址 www.sinomaps.com

经 销 新华书店

字 数 200 千字

印 次 2011 年 1 月第 1 次印刷

定 价 29.00 元

书 号 ISBN 978-7-5030-2189-3/P·512

如有印装质量问题,请与我社发行部联系。

前 言

自 1990 年瑞典捷创力公司生产出测地机器人(跟踪全站仪)Geodimeter 4000 以来,世界上的几个测绘仪器生产厂家已先后生产出了多种型号的测地机器人。测地机器人不仅测量精度高、体积小,而且可以自动地跟踪和照准目标,实现全自动化测量,这也是广大测绘工作者梦寐以求的目标。

虽然测地机器人已经有 20 多年的发展历史了,但国内对此还缺乏系统性的研究,更没有相关研究专著的出版。特别是近年来,数字信号处理技术、数字图像处理技术等应用到测绘仪器中,不仅更新了传统的测距、测角原理,更是为自动化测量技术的发展开辟了新途径。鉴于此,作者在参阅大量国内外相关资料的基础上,结合自己对测地机器人的研究成果编著了本书。

全书共分 7 章。第 1 章主要介绍了与测地机器人相关的、在国内文献中很少介绍的内容,例如,测距、测角仪器及自动化测量技术的发展历程,角度及长度量值的溯源等。第 2 章主要介绍了国外最新的测距原理,着重介绍了瑞士徕卡公司的 PinPoint 测距技术。第 3 章介绍了单圈绝对码盘的编码原理,给出了日本索佳公司和日本拓普康公司单圈码盘的编码示例。第 4 章介绍了测距、测角成果中所包含的系统偏差对测距、测角成果的影响及其消除方法。第 5 章介绍了检定测地机器人动态性能所需的检定设备,并给出了国外一些机构的检定结果。第 6 章介绍了构成测地机器人系统的其他部件,研究了自动目标识别(ATR)的工作原理。第 7 章给出了测地机器人的 3 个应用实例。附录 A 介绍了德国卡尔斯鲁厄大学关于对测地机器人进行四维检定的内容,附录 B 研究了免棱镜测距技术实际应用中存在的问题。

本书第 1 章、第 2 章、第 3 章及第 7 章由天津大学熊春宝编写,其余章节由中国测绘科学研究院杨俊志编写。作者共同商议了全书内容并相互审阅对方所编写的内容。此外,杨俊志负责全书的统稿工作。

在本书完成之际,作者特别感谢中国工程院叶声华院士对作者的帮助与鼓励。

本书可供全站仪的生产、使用和检定人员,以及有关科技人员和大、中专院校学生、研究生阅读和参考。

限于作者的知识水平,书中错误在所难免,恳请读者批评指正。

目 录

第 1 章 绪论	1
§ 1.1 测距测角仪器的发展简史	1
§ 1.2 全站仪的分类与命名	6
§ 1.3 测绘行业中自动化测量技术的发展历程	9
§ 1.4 当前测地机器人的现状	14
§ 1.5 测地机器人量值的溯源	21
第 2 章 测距原理	27
§ 2.1 传统的测距方法	27
§ 2.2 瑞士徕卡公司的间接测相与间接测时技术	33
§ 2.3 瑞士徕卡公司 PinPoint 测距技术	38
§ 2.4 日本拓普康公司的测距系统	44
§ 2.5 日本索佳公司的 RED-tec 测距技术	48
第 3 章 现代测角原理概述	51
§ 3.1 绝对码盘的测量原理概述	51
§ 3.2 单圈码盘的通用编码原理及解码方法	52
§ 3.3 日本索佳公司仪器的编码方法与解码方法	58
§ 3.4 日本拓普康公司的码盘编码方法	64
第 4 章 误差源及系统误差检定	67
§ 4.1 误差源	67
§ 4.2 检定内容	69
§ 4.3 测距误差及其改正方法	73
§ 4.4 角度测量误差源及其改正	82
§ 4.5 360°反射棱镜的结构及其检定	88
§ 4.6 静态目标自动照准精度的检定	93
§ 4.7 测距精度的检定	95

第 5 章 动态定位的精度检定	103
§ 5.1 概述	103
§ 5.2 动态定位所涉及的数学模型	104
§ 5.3 动态性能检定所需设备	108
§ 5.4 动态性能检定方法与结果	114
第 6 章 测地机器人系统的集成与功能	121
§ 6.1 测地机器人系统的主要部件	121
§ 6.2 自动目标识别(ATR)模式的实现	122
§ 6.3 动态测量数据的计算处理	128
第 7 章 实例应用	132
§ 7.1 自动变形监测系统	132
§ 7.2 自动化施工机械引导系统	136
§ 7.3 自动化隧道掘进机引导系统	138
附录 A 基于时间参照系统的四维检定	141
附录 B 免棱镜测距问题	149
参考文献	157

第1章 绪 论

确定地面点的空间信息通常需要获取空间点的三维坐标 (x, y, z) 。其中在全球定位系统 GPS 出现前,测量空间点之间的长度及角度是获取平面坐标 (x, y) 的主要手段。测绘仪器的发展与变革几乎是围绕着快速、精确地测量长度和角度展开的。

§ 1.1 测距测角仪器的发展简史

1.1.1 早期的长程测距仪器

长度测量是人类认识自然和改造自然不可缺少的活动,是获取待测点信息最基础的数据。历史上人们曾一度采用测链、标杆及标准尺去测量待定点之间的距离。

天文学家在 17 世纪初就已知道利用光束能够测量两点之间的距离。但利用电磁波进行距离测量的研究则主要开始于第二次世界大战之后。

从 1938 年起,在瑞典地理调查局工作的物理学家贝格斯特兰(E. Bergstrand)开始研究用克尔盒法取代旋转齿轮法测量光速。为此他设计了这样一套测量系统:由仪器以一定频率发射光脉冲,经一定距离处的棱镜反射后,仪器接收光脉冲后计算出光速。1947 年,贝格斯特兰将该套测量系统安置在相距 6 km 的基线上进行光速测量,获得的光速值为: $299\,793.1 \pm 0.2 \text{ km/s}$ 。

1948 年 8 月,贝格斯特兰在挪威首都奥斯陆举行的国际大地测量学协会上发表了一篇论文,他建议采用与测量光速相逆的过程来测量未知距离。在参加这次会议之前,贝格斯特兰要求瑞典 AGA 公司为他的光速测量仪安装一个仪器壳。会后,贝格斯特兰要求瑞典 AGA 公司将该仪器商品化并将该类仪器命名为 Geodimeter(取自“Geodetic Distance Measuring Meter”,译为“大地距离测量仪”)。

1953 年,Geodimeter 商品化后的第一种型号 NASM-1 面市。美国购买了 5 台仪器并随后进行了检定,检定结果表明该仪器距离测量的精度可达 $1/30$ 万,这样的精度完全可以与当时最好的因瓦基线尺的测量结果相媲美。由于 Geodimeter 采用普通光源,所以将其称为光波测距仪。图 1.1、图 1.2 及图 1.3 分别为 NASM-1 的正面图、侧面图及背面图。

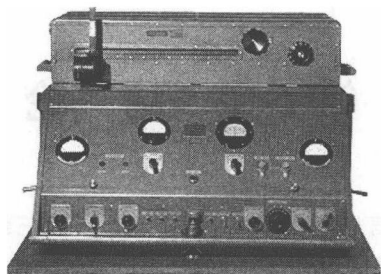


图 1.1 瑞典 AGA 公司的光波测距仪 NASM-1(正面图)

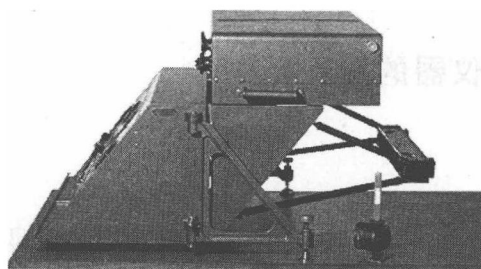


图 1.2 瑞典 AGA 公司的光波测距仪 NASM-1(侧面图)

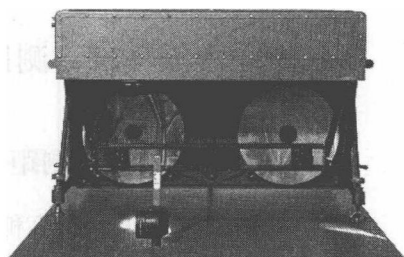


图 1.3 瑞典 AGA 公司的光波测距仪 NASM-1(背面图)

NASM-1 由测量单元(见图 1.1 的上部)及光学单元(见图 1.1 的下部)构成,其中测量单元的体积为长 88 cm、宽 43 cm、高 35 cm,重 46 kg;光学单元的体积为长 87 cm、宽 46 cm、高 53 cm,重 48 kg。

1957 年,南非国家通信研究所研制成功了微波测距仪 Tellurometer MRA 2。微波测距仪需要主台和副台。图 1.4 为 Tellurometer MRA 2 的正侧面图。

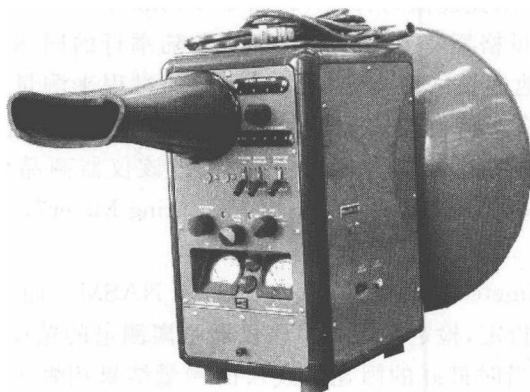


图 1.4 南非国家通信研究所的微波测距仪 Tellurometer MRA 2

光波测距仪 Geodimeter 和微波测距仪 Tellurometer 属于远程仪器,不仅精度较低、体积大、价格昂贵,而且使用也极为不便。这在一定程度上限制了这类远程仪器的推广。

1.1.2 短程红外光电测距仪

20 世纪 60 年代是研发短程测距仪的起飞阶段。瑞士威尔特公司从 1963 年开始研究砷化镓发光器,由于砷化镓发光器不仅能作为测距仪的光源,而且可以作为调制器,这样能够大大减少仪器的体积和重量,降低电源功耗。到 1966 年年底,瑞士威尔特公司与法国赛舍尔公司联合研制成功以砷化镓发光二极管为光源的短程测距仪 Distomat DI 10(见图 1.5)。

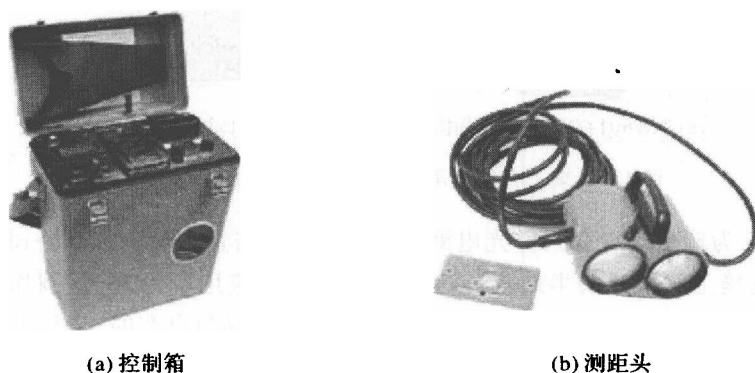


图 1.5 瑞士威尔特公司的光电测距仪 DI 10

与早期的远程测距仪器相比,DI 10 具有显著的优点:体积小、重量轻(带电池仅重 17.7 kg)、使用方便、价格便宜、测距精度高。同时 DI 10 还能够安置到光学经纬仪上,实现距离和角度同时测量。DI 10 是当时最主要的品牌之一。

以砷化镓发光器发出的红外光为光源的这类短程测距仪称为红外光电测距仪(也简称“光电测距仪”)。由于这类仪器具有以上所述的优点,一投入市场就受到了广大测量人员的欢迎。

1.1.3 半站仪

为了实现角度和距离同时测量,人们将光电测距仪直接安装到光学经纬仪的望远镜上或者安装到经纬仪的支架上,通常将这种组合后的仪器称为半站仪(我国亦称为测距经纬仪)。根据光电测距仪与光学经纬仪组合形式不同,可以将其分为以下 3 类。

1. 光电测距仪安置在光学经纬仪的望远镜上

虽然这种结构可以实现一次照准反射棱镜的标志就能够实现角度和距离测量

的目的,但需要经常调整光电测距仪的测距轴,使其与光学经纬仪的视准轴平行或者重合,图 1.6 为瑞士科恩公司的光电测距仪 DM 503 与光学经纬仪 DKM 2-A 组合成的半站仪,光电测距仪 DM 503 的发射部分和接收部分分别位于光学经纬仪 DKM 2-A 望远镜的上下部。

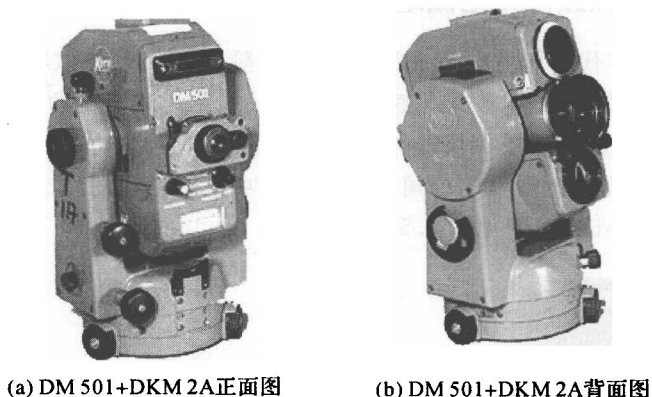


图 1.6 瑞士科恩公司的半站仪(DM 503+DKM 2A)

图 1.7 为瑞士徕卡公司的光电测距仪 DI 1001 安置在瑞士徕卡公司光学经纬仪 T2 望远镜上组合成的半站仪。这类结构在我国应用较为普遍,例如原北京光学仪器厂引进瑞典 AGA 公司的 AGA 112 光电测距仪与自产的 TDJ 2E 光学经纬仪组合成半站仪。

2. 光电测距仪安置在光学经纬仪的支架上

这种结构的仪器需要分别用光学经纬仪照准反射棱镜的测角标志进行角度测量,用光电测距仪的望远镜照准反射棱镜进行距离测量,光学经纬仪仅仅起到支撑作用。也有将这类光电测距仪单独使用的情况。图 1.8 为日本索佳公司(原为日

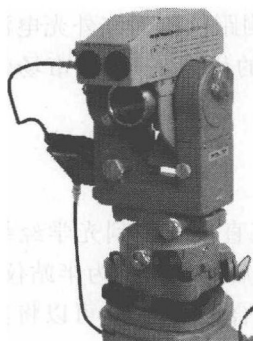


图 1.7 瑞士徕卡公司的半站仪
(DI 1001+T 2)

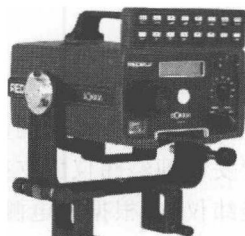


图 1.8 日本索佳公司的光电
测距仪 RED 2L

本测机舍)的光电测距仪 RED 2L,该类仪器曾经在我国测绘行业广泛使用,是当时我国最常见的光电测距仪。我国的光电测距仪 RED 2L 不仅有从日本索佳公司进口的原装产品,也有我国自己组装的产品。

3. 光学经纬仪与光电测距仪设计为一体

为克服以上两种结构给测绘人员带来的不便,达到一次照准目标就能够实现精确的距离和角度测量的目的,使光学经纬仪的视准轴与光电测距仪的测距轴设计成共轴是一种最佳选择。图 1.9 为日本拓普康公司生产的半站仪 GTS-2。

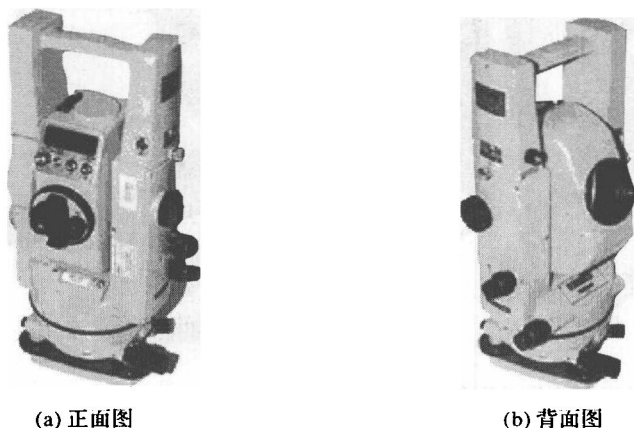


图 1.9 日本拓普康公司的半站仪 GTS-2

1.1.4 全站仪

1968 年,原西德奥普托公司生产出了一种兼有光电测距、电子测角和测量数据自动记录的大地测量仪器,由于该种仪器采用了电子(electronic)的测距和测角方式(在德语中将具有测距和测角功能的仪器称为 Tachymeter 或 Tacheometer,译为速测仪),同时该种仪器还具有数据记录(registration)功能,奥普托公司取这几个单词的前几个字母将该仪器命名为“Reg Elta”,意思是具有数据记录(Reg)功能的电子(EI)速测仪(Ta),并将“Reg Elta”作为原西德奥普托公司电子速测仪的注册商标。图 1.10 为 Reg Elta 46 的正面图。Reg Elta 46 的测角精度为 $3''$;测距光源为红外光、测程为 2.0 km。

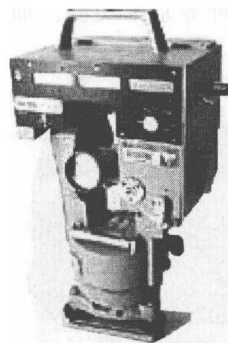


图 1.10 德国奥普托公司的全站仪 Reg Elta 46

1971 年瑞典 AGA 公司生产出了与 Reg Elta 这种仪器功能一样的仪器 Geodimeter 700。

1978 年美国惠普公司生产出了具有光电测距、电子测角和测量数据自动记录的

大地测量仪器 HP 3820(见图 1.11)并将这种仪器命名为全站仪(Total Station)。目前在仪器生产厂家提供的英文说明书上,绝大部分厂家将这种仪器命名为 Total Station。

除前面将测距部分与测角部分设计成一体的全站仪外,还有将光电测距仪装载到电子经纬仪上的积木式全站仪。图 1.12 为瑞士威尔特公司的 DI4L 光电测距仪装载到电子经纬仪 T1600 上构成的组合式全站仪。

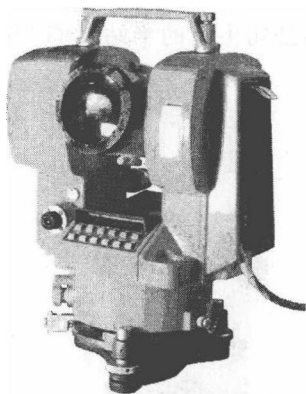


图 1.11 美国惠普公司的全站仪
HP 3820

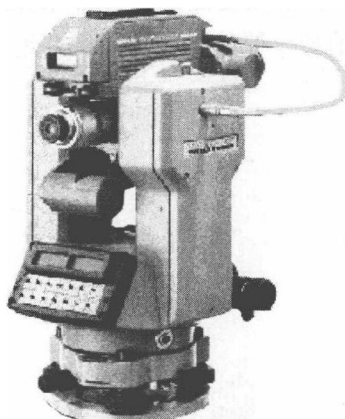


图 1.12 瑞士威尔特公司的组合式
全站仪(DI4L+T1600)

§ 1.2 全站仪的分类与命名

最初的全站仪只能依靠反射棱镜进行距离、角度测量,对测量数据进行存储与处理等基本功能。而当前的全站仪则拥有众多新功能,如不需要合作目标就可进行距离、角度测量,对目标进行自动识别,自动精确照准目标,自动跟踪运动目标,自动进行测量并对测量数据进行分析处理等。全站仪的这些新功能,不仅进一步拓宽了全站仪的应用领域,而且它可以根据用户编制的程序,自动完成各种测量工作。本节依据全站仪的功能,对全站仪进行了分类,但后续章节仅涉及测地机器人。

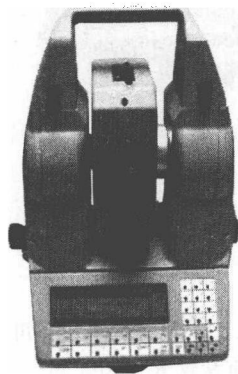


图 1.13 瑞士徕卡公司
的经典全站仪 TC 1100

1.2.1 经典全站仪

经典全站仪依靠反射棱镜进行距离和角度测量,并装载有误差检定程序和一些特殊应用程序,可以对测量数据进行存储,如瑞士徕卡公司(前身为瑞士威尔特公司,下同)的 TC 系列全站仪,其典型代表如图 1.13 所示。

1.2.2 机动化全站仪

在经典全站仪上装有两个步进电机,用于控制照准部和望远镜的旋转。这类全站仪除拥有经典全站仪的功能外,还可以采用计算机对其实施在线控制,使仪器能够自动照准给定方向值的目标,同时仪器也可以自动实现正、倒镜测量,其典型代表为瑞士徕卡公司的 TCM 系列全站仪。

1.2.3 免棱镜全站仪

在经典全站仪的基础上,仪器装有一个功率更大的激光二极管,用于对不便于设立反射棱镜的标志点进行测量。因此,免棱镜全站仪可以广泛地应用于房地产测量、地籍测量、结构安装与施工测量等领域,例如,徕卡公司的 TCR 系列全站仪。

1.2.4 机动化免棱镜全站仪

将机动化全站仪和免棱镜全站仪组合在一起,构成了机动化免棱镜全站仪。例如,徕卡公司的 TCRM 系列全站仪。

由于全站仪的这些新功能是集成在仪器内部,所以从外形图上很难分辨出经典全站仪、机动化全站仪、免棱镜全站仪及机动化免棱镜全站仪的差别,其外形仍然与图 1.13 类似。

1.2.5 智能型全站仪(robotic total station)或测地机器人(georobot)

在机动化全站仪的基础上,仪器装载了自动目标识别等新功能。这类全站仪除需使用者安置和整平仪器外,不需要再进行另外的工作,仪器就可以自动完成各种测量工作。这类仪器有两个显著特点:①获得的测量结果的精度只与仪器本身的质量和测量环境有关,与测量者无关;②即使在光线很暗甚至在全黑的条件下,仪器也可以完成测量工作。基于该类全站仪的这些特点,它除可以应用到常规测量领域外,特别适合应用到各种特殊测量领域,例如,对滑坡、水坝、桥梁、隧道等准动态目标的周期性自动监测。当仪器用于这些建(构)筑物的自动监测时,可以增设预警系统,对变形量进行预报。同时也可以将这类要求应用到隧道盾构机、推土机、架桥机、铁路铺轨机、播种机等施工机械的控制领域。由于这类仪器的图像传感器可以实时记录光线通过大气后的变化情况,在一些科研领域如大气折光的研究等也有着广泛的用途。

对于具有目标识别功能的全站仪,目前还缺乏统一的定义。德文文献的作者一般将其称为“Robottachymeter、Robotertachymeter”(机器人型速测仪),而英文文献的作者则将其命名为:“robotic total station”(智能型全站仪)、“one man system”(单人测量系统)、“georobot”(测地机器人)、“tracking total station”(跟踪

全站仪)等。考虑到智能型全站仪一词已在国内广泛使用,它是指拥有操作系统和多种应用软件的经典全站仪,因此,本书用测地机器人(georobot)这一名称来专指具有自动目标识别功能和自动目标跟踪功能的全站仪,图 1.14 为瑞士徕卡公司生产的测地机器人 TCA2003。

1.2.6 超站仪(total station with integrated GPS)

为获取未知点的信息,首先需要把全站仪架设在已知点上。如果能够直接将全站仪架设在未知点上,再用全站仪测量其他未知点的同时,全站仪本身的三维坐标也能够同时确定,则会给测绘工作带来极大的方便。超站仪就是为满足上述需求而设计出的新产品,超站仪的第一代产品 System 1200 由瑞士徕卡公司于 2005 年元月底推出。System 1200 由徕卡全站仪 TPS1200、GPS 天线、控制及数据处理软件构成。如图 1.15 所示,GPS 天线安装在全站仪上,全站仪所带的软件控制 GPS 天线,使其跟踪卫星、接收 RTK 信号并解算出 SmartStation GPS 天线的位置,仪器自动进行偏心改正,最终获得超站仪的位置。

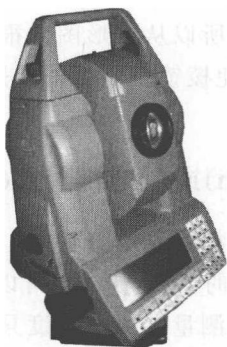


图 1.14 瑞士徕卡公司的测地机器人 TCA2003

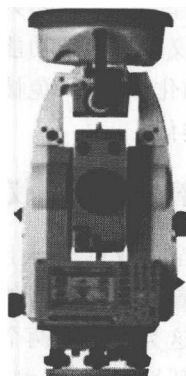


图 1.15 瑞士徕卡公司的超站仪 SmartStation

1.2.7 万能全站仪(image assisted total station)

即使是目前的测地机器人,也仅仅是依据返回测量信号的强度,对反射棱镜或反射片的位置进行识别,远远没有达到对望远镜视场内各种目标进行识别的能力。

数字图像处理技术从 1990 年起已经在测绘仪器(如数字水准仪)中得到了应用,取得了丰硕的成果。数字水准仪的成功实践也把测量信号的处理从模拟信号的处理方式转变为数字信号的处理方式。近年来,随着数字电路的发展及各种优化算法的提出,采用软件来实现很多过去需要很多硬件才能够实现的功能,这样使得仪器的硬件部分大大减少。

万能全站仪就是在测地机器人的基础上发展起来的,仪器能够自动识别仪器望远镜视场内的目标并对其进行测量,获取待测点的空间信息。

万能全站仪又分为半自动化系统和全自动化系统。半自动化系统目前已有产品投放市场,全自动化系统目前正处于研发阶段。

1. 半自动化系统

设计半自动化系统的主要目标是在尽可能少的人工干预下,仪器能够自动地测量出待测目标的特征点。与当前广泛使用的激光扫描仪扫描激光所达到的所有点不同,万能全站仪仅对重要的特征点进行测量,而且其测量精度较高。目前在市场上销售的具有半自动化功能的万能全站仪有日本拓普康公司的 GPT-7000i 及美国天宝公司的万能全站仪 VX Spatial Station。图 1.16 为美国天宝公司的万能全站仪 VX Spatial Station 的示意图。

2. 全自动化系统

设计全自动化系统的主要目标是在没有人工干预的情况下,仪器能够自动地测量出待测目标的特征点。为了能够实现这个目标,仪器需要一个功能强大的决策系统,用以识别望远镜视场内待测目标的所有特征点。目前,这类仪器还处于研发阶段,图 1.17 为瑞士徕卡公司研发的样机 IATS,译为具有图像识别功能的全站仪。

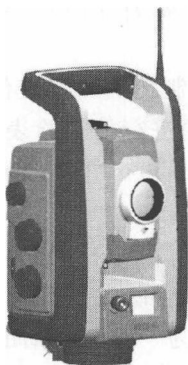


图 1.16 美国天宝公司的万能全站仪
VX Spatial Station

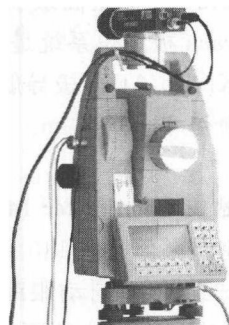


图 1.17 瑞士徕卡公司的万能
全站仪 IATS(样机)

§ 1.3 测绘行业中自动化测量技术的发展历程

对野外目标进行自动观测是测绘工作者追求的终极目标。最初人们是期望发展“电子眼”的技术方案来实现自动化测量。德国应用大地测量研究所于 1946 年(或 1947 年)就开始研发电子眼的工作,它与德国柏林的阿斯卡尼亚公司合作,于

1957 年研发成功了第一台样机。虽然该产品不需要通过人眼对被测目标进行瞄准,但与当今的测地机器人用伺服电机驱动仪器进行全自动化照准还是不一致的,样机是通过电子线路来实现精确照准目标的。

随着电子测距、电子测角、计算机及图像传感器等相关技术的快速发展,测绘行业所用的自动化测量技术也取得了长足的进步。早在 1991 年,澳大利亚新南威尔士大学的 Sppel 等(1991)就总结了自动化测量技术在测绘行业中的应用情况,Sppel 等(1991)依据自动化测量技术的应用情况,将其归纳为水道测量系统、工程测量系统、碎部测量系统及工业测量系统。回顾自动化测量技术的发展历程,便于人们更进一步拓宽测地机器人的应用领域。

1.3.1 水道测量系统

1. Krupp Atlas 极导航仪

Atlas 极导航仪是德国 Krupp Atlas 电子公司生产的三维测量系统,用于水道测量中的定位测量。它带有的自动激光跟踪器可连续跟踪运动状态中的反射棱镜,且能实时进行水平方向、天顶角及斜距测量。测量数据可采用无线通信方式进行传输。仪器可以由便携式计算机或通过无线电遥测仪来控制。该系统可以置放在一个无人站上自动地工作,并将测量数据传输到其他点,以供分析和实时定位。在良好条件下其距离测量范围为 $20 \sim 10\,000\text{ m}$,测距精度为 $(0.1\text{ m} + 50 \times 10^{-6} D)$ 。

2. Navitrack 极定位系统

Navitrack 极定位系统是由 New Navitrack 公司制造的三维定位系统。其操作与德国 Krupp Atlas 极导航仪相似。由瑞典航海局进行的检验表明:该仪器样机的最大测程可达 $3\,800\text{ m}$ 。其定位精度在 $0.050 \sim 0.250\text{ m}$ (它与船的运动方向和速度有关)。

3. 全站仪 Geodimeter 140T

瑞典捷创力公司在 140 系列电子速测仪的基础上,研发了多种自动化仪器。Geodimeter 140T 型自动跟踪全站仪就是其代表,它为一种全自动的水道测量系统。将仪器安置在岸边的固定点上,在测量工作开始之前,首先照准船上的反射棱镜,仪器就可以进入自动工作状态,不需要作业员再进行控制。为提高角度测量的精度,仪器的跟踪光束和电子测距仪的测距光束是分开的。当跟踪光束锁定船上的反射棱镜后,测量数据便不断更新,并通过高频无线电波将数据传输到船上。仪器记录每个测量周期中获得的水平方向、天顶角和斜距,根据机载软件对这些测量数据进行处理后,仪器可以成为实时三维测量系统。在 100 m 处的最大跟踪速度可达 34 km/h 。在动态定位模式下,该仪器精度可达 0.3 m 。图 1.18 为全站仪 AGA 140T 测量示意图。

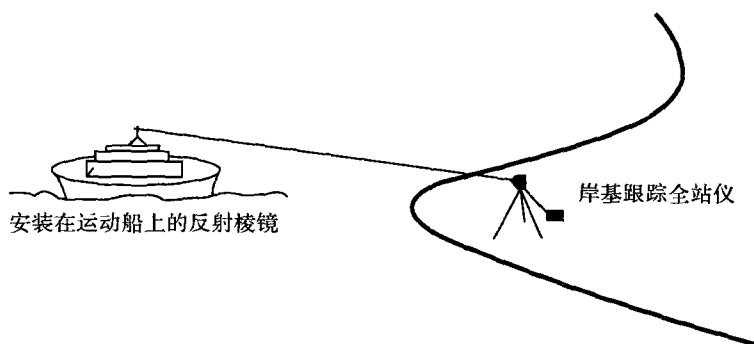


图 1.18 岸基全站仪自动跟踪轮船(Sippel et al,1991)

4. Millnav DB360

Millnav DB360 是荷兰生产的岸基水道测量跟踪测量系统。该类自动化仪器需要初始定位和初始设置,它是专门为水道测量而设计的。为能进行通讯和数据的输入输出,通过一系列电缆将仪器连至计算机控制器。角度测量精度为 0.01° 。岸基全站仪可以测量水平角、天顶角和斜距。在 10 km 范围内,定位精度大约为 0.25 m。

5. 日本测机舍自动水上定位系统

日本测机舍(现索佳公司)制造的自动水上定位系统是以 3 台仪器为基础的测量系统。3 台自动化仪器装在船的顶部,它们同时照准岸上的两组反射棱镜,即可实现自动定位。这是因为仪器之间、反射棱镜之间的关系是已知的,通过船上 3 台仪器同时测量至反射棱镜的距离,由于有较多的多余观测,可得到较高的定位精度。在测量距离的同时,仪器也记录每一测站上的方向测量值。反射棱镜的恰当安置与跟踪光束的协调一致能够使仪器锁定目标并进行连续测量。仪器能以每秒 10° 的角速度旋转。角度精度可达 $3'$ 。水平方向的角度旋转范围为 $\pm 160^\circ$, 竖直方向的旋转范围为 $\pm 20^\circ$ 。在良好气象条件下,测程可达 2 100 m,测距精度为 $(5 \text{ mm} + 5 \times 10^{-6} D)$ 。定位精度取决于岸上反射棱镜的间距以及被测距离的长度。在大约 2 km^2 的区域内,反射棱镜间距为 400 m 时,精度达到 0.015 m。

6. 日本拓普康公司的 AP-S1 自动水上定位系统

日本拓普康公司的 AP-S1 自动水上定位系统是能自动定位的自动化经纬仪。该仪器的扫描搜寻功能使其在光束中断后还能继续寻找反射棱镜进行距离测量。水平方向和竖直方向的旋转范围分别为 $\pm 177^\circ$ 和 $\pm 30^\circ$ 。角扫描速度达 $10^\circ/\text{s}$ 。该仪器自动定位精度可达 $2'$ 。采用 9 个棱镜测程可达 2.8 km;精度为 $(5 \text{ mm} + 5 \times 10^{-6} D)$ 。

在 GPS 技术高速发展的今天,水道测量的定位工作已经由差分 GPS 技术来完成了。基本已经取代了这些传统的水道测量系统。这是由于差分 GPS 技术具有作用范围广、精度高以及使用方便等优点。