

现代测绘科技丛书

实时经纬仪工业测量系统

于来法 段定乾 编著

XIANDAI CEHUI KEJI CONGSHU

测绘出版社

22
06

责任编辑:李正新

封面设计:赵培璧

ISBN 7-5030-0829-6



9 787503 008290 >

定价:11.00 元

现代测绘科技丛书

实时经纬仪工业 测量系统

于来法 ~~段定乾~~ 编著

测绘出版社

· 北 京 ·

内 容 简 介

本书全面系统地论述了实时经纬仪工业测量系统的构成、测量原理,分析了精度,介绍了一些实际的工程应用,反映了当前实时经纬仪工业测量系统在我国应用的最新成就。

本书可供从事工程测量工作的有关技术人员参考,也可作为高等院校有关专业的教材和参考书。

图书在版编目(CIP)数据

实时经纬仪工业测量系统/于来法,段定乾编著,一北京:测绘出版社,1996.4

ISBN 7-5030-0829-6

I. 实… II. ①于… ②段… III. 实时-经纬仪-测量-工业体系 IV. P213

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (95) 第 22682 号

测绘出版社出版发行

(100045 北京市复外三里河路 50 号 (010) 68512182)

北京市怀柔王史山印刷厂印刷·新华书店总店北京发行所经销

1996 年 6 月第一版·1996 年 6 月第一次印刷

开本: 850×1168 1/32·印张: 5

字数: 128 千字·印数: 0001—2000 册

定价: 11.00 元

《现代测绘科技丛书》

编委会委员名单

主任委员 陈俊勇

副主任委员 宁津生 高俊 张祖勋
楚良才 陈永奇 华彬文

委员 (以姓氏笔划为序)

于来法 方恒 田应中

朱华统 李德仁 陈绍光

张清浦 林宗坚 陶本藻

钱曾波 黄杏元 梁宜希

喻永昌 廖克 潘正风

出 版 说 明

《现代测绘科技丛书》是经国家测绘局批准列入我社“八五”重点出书规划的选题之一。其编写宗旨是对 80 年代以来测绘科技领域在新理论、新技术、新工艺等方面所取得的成果进行总结，整理成册，以期对改造传统测绘生产技术，提高劳动生产率和产品质量，形成我国现代测绘技术体系，发挥科技图书应有的作用；同时也为反映我国测绘科学研究水平，丰富我国测绘学术专著宝库服务。出版本套丛书也是为适应加速测绘科技成果转化成为现实生产力的需要。

本套丛书按专题成册，包括 40 余个选题。专题有两种类型：一类偏重学术性，主要反映我国测绘各专业近十年来在理论研究方面所取得的、能代表我国先进水平的新成就和某些老专家毕生研究成果的专著，以及测绘前沿填补国内空白的著作；另一类偏重应用技术，是本丛书的主体，其内容是在理论指导下以新技术、新工艺、新材料、新产品研究成果的推广应用为主，个别的配有实用软件。

丛书编委会于 1992 年 1 月成立，全体编委对丛书出版意图、读者对象，乃至每个选题及其内容都作了充分研究和讨论，在全国测绘界选择了有代表性的专家参加各个分册的撰写和审稿工作。按照计划，这套丛书的各分册将根据撰写完成情况先后定稿出版，陆续与读者见面。

前 言

现代工业的迅速发展,使设备的尺寸愈来愈大、结构更加复杂、工艺水平和自动化程度也大大提高,对加工产品的质检精度要求也越来越高。显然,传统的测量仪器设备和方法已远不能适应现代工业测量的要求。随着电子经纬仪、CCD 摄像技术和电子计算机的应用和发展,出现了由电子经纬仪或摄像机为传感器,并结合电子计算机等设备构成的实时无接触工业测量系统。它为工业测量实现高精度和自动化奠定了基础,并已广泛地应用在许多领域,如工业计量、质量检测、天线校准、构架安装、负荷试验、变形测量,以及汽车、船舶、飞机、航天器等研制中的测量。

本书全面系统地论述了实时经纬仪工业测量系统的构成、测量原理,分析了精度,介绍了作者所进行的实验及大型天线、大板坯连铸机及某电磁工程实验室反射体的工程检测的测量实践。全书共分八章,其内容是:工业测量系统的发展和应用;系统的测量原理和方法;系统的定向测量和精度分析;系统设备的精度开发;系统的观测数据平差;大型抛物面天线的检测原理与数据处理;电磁工程实验室反射体检测的实践应用;大型炼钢厂连铸机的曲面检测应用等。

本书由于来法教授和段定乾副教授共同编著,其中于来法编著第一、二、三章,段定乾编著第四、五、六、七、八章,并由由于来法作了统校。本书理论联系实际,反映了当前经纬仪工业测量系统在我国应用的最新成就。可供有关技术人员参考,亦可作为高等学校有关专业的教材和参考书。

本书在编写过程中得到了《现代测绘科技丛书》编委会及测绘

出版社的大力支持和帮助。武汉测绘科技大学潘正风教授对本书进行了精心审阅，提出了宝贵意见。在此，作者对他们表示深切的谢意。

由于作者水平所限，书中错误之处在所难免，恳请读者批评指正。

编著者

1995 年 7 月

目 录

第一章 引论	(1)
§ 1.1 概述	(1)
§ 1.2 实时经纬仪工业测量系统的发展和应用	(2)
第二章 系统的测量原理和方法	(11)
§ 2.1 系统的构成	(11)
§ 2.2 系统的测量原理	(12)
§ 2.3 空间前方交会的精度估计	(15)
§ 2.4 系统的作业方法和操作步骤	(19)
§ 2.5 三维测量流动工作站	(25)
§ 2.6 照准目标和精度	(28)
第三章 系统的定向测量方法和精度分析	(33)
§ 3.1 概述	(33)
§ 3.2 相对定向元素的测量方法	(33)
§ 3.3 绝对定向元素的测量方法和精度分析	(35)
§ 3.4 同时进行绝对及相对定向测量的方法和精度 分析	(42)
第四章 系统设备精度的开发	(50)
§ 4.1 T3000 电子经纬仪补偿系统的试验	(50)
§ 4.2 T3000 电子经纬仪的测角精度试验	(51)
§ 4.3 T3000 电子经纬仪的对瞄精度试验	(52)
§ 4.4 照准精度试验	(53)
§ 4.5 基线距离的反算及布设精度	(54)
§ 4.6 用诺模图分析系统的精度	(64)

§ 4.7	空间测量系统点位误差椭圆诺模图	(69)
第五章	系统的观测数据平差	(73)
§ 5.1	概述	(73)
§ 5.2	测站点的三维平差	(73)
§ 5.3	曲面检测的拟合平差原理	(78)
§ 5.4	序贯平差	(83)
§ 5.5	系统平差计算的实用公式	(86)
§ 5.6	系统检测时所能达到的实际精度	(88)
第六章	大型抛物面天线检测原理与数据处理	(97)
§ 6.1	天线检测的基本原理和要求	(97)
§ 6.2	天线测量中的坐标转换参数	(102)
§ 6.3	大型天线变形检测设备与数据处理	(113)
§ 6.4	大型天线自重变形检测实例	(121)
第七章	电磁工程实验室的反射体检测	(127)
§ 7.1	场地概述	(127)
§ 7.2	反射面机械加工精度检测	(128)
§ 7.3	三位一体的精密定位	(139)
第八章	大板坯连铸机的曲面检测	(142)
§ 8.1	连铸机结构简介及安装要求	(142)
§ 8.2	测量的设备和方法	(144)
§ 8.3	数据处理	(146)
主要参考文献		(149)

第一章 引 论

§ 1.1 概 述

工业测量是在制造工业和机床安装工业中,对部件和产品的形体进行精密(10^{-5} 甚至更高)的三维坐标测算工作。工业测量的总目的是:使零、部件的制造、装配和整机的安装同设计图纸相符合,以保证产品规格、性能达到设计要求;在生产和使用过程中,通过对工件或产品进行定期的检验测量,为确定废品率和变形量提供数据。

传统的工业测量方法,一般采用高分辨力的三维坐标测量机、气动测长仪、长度及角度传感器、比长器、激光干涉仪、测量显微镜和断面投影器等仪器来测量。但是,这些仪器和测量方法都有一定的局限性,即多数只能做接触测量,一般仅限于测量尺寸较小的物件,不能观测大体积和不可到达的目标。对于较大工件和整机也可用大地测量的手段,即用经纬仪、水准仪、钢卷尺测算出物体表面点的三维坐标。可是,这种方法不仅做不到及时,而且效率很低,因为测量时读数、记录、计算费时费力,不适应现代工业测量的需要,因此这种方法在实际工作中很少应用。

现代工业的迅速发展,使设备的尺寸愈来愈大,结构愈来愈复杂,自动化程度愈来愈高,因此就提出了进行无接触、实时和高精度测量的要求。例如,对于航空与航天工业、汽车制造、造船、天线、加速器、核电站及机械制造工业,在生产设备定位、安装、质检及校准中都提出了很严格的要求。现代电子经纬仪、全站型电子速测仪及非地形摄影测量的发展和应用,改变了以接触

方式为主的传统工业三维坐标测量方法,出现了以空间前方交会原理为基础,以电子经纬仪及摄影像机为传感器的光学三维坐标无接触工业测量系统。与传统方式相比较,新的检测技术除了可以在无接触的方式进行测量外,还可以在不移动工件的情况下,直接在现场安置检测系统,实时地检测及指导设备构件的装配与调整。

无接触三维工业测量系统,根据采用的仪器设备,可以将它们分为电子经纬仪三维工业测量系统、全站型电子速测仪三维工作站和三维摄影工业测量系统;按其提供物点空间坐标的时间,可以分为实时和非实时测量系统。我们可以将其归纳成两类,即:实时经纬仪工业测量系统(Real-time, Theodolite Industrial Surveying System),其中包括全站型电子速测仪三维工作站,简称 RTISS;实时摄影工业测量系统(Real-time Photograph Industrial Surveying System),简称 RPISS。

实时摄影工业测量系统随着摄影测量自动化得到很快的发展和应。RPISS 通常分为两类:一类是以传统的脱机摄影测量方式,通过模拟摄影和随后的立体观测处理获取物点三维坐标,特点是数据获取与像片测图及数据处理各阶段是分开进行的,因而不能做到实时效果;另一类称为联机系统,通过装有电荷耦合器 CCD 面阵传感器的电子摄影机与数字技术处理融为一体的自动化过程,现场获取物点三维坐标,它不需要将数据拿到室内处理,因此能做到实时或接近实时的效果。

本书主要介绍和讨论实时经纬仪工业测量系统。

§ 1.2 实时经纬仪工业测量系统的发展和应用

一、系统的发展

实时经纬仪工业测量系统是由两台或多台电子经纬仪通过电

缆与微型计算机联结所构成的空间三维坐标测量装置。可见，电子经纬仪与计算机的发展为它的迅速发展和应用奠定了基础，例如装有 CCD 数字摄像装置及激光发射器且轴系由马达驱动的新型电子经纬仪，不仅能实现测量的自动化，而且测量坐标的速度与精度可以达到每小时 500 个点和士 ($0.05\text{mm} \sim 0.1\text{mm}$)。

1980 年 Johnson 首次介绍和应用了经纬仪工业测量系统，他在美国最先采用 (K+E) 厂生产的 DT-1 型电子经纬仪，进行双站系统的工业测量，从而引起工业界的注意和仪器厂家的竞争。现在属于 Leica 集团公司的三大厂家，包括 Wild 厂、Kern 厂、Leitz 厂，德国 Zeiss 厂以及美国、日本的厂家等，生产出了几百套产品供世界各地使用。实时经纬仪工业测量系统亦称“工业大地测量系统”(GeoIMS)，它是由电子经纬仪(至少 2 台，多至 8 台)、系统控制器(微型计算机)、软件、传感器处理机、监视器和因钢横基尺等组成。国外已发展了许多种型号的这种系统，它们的共同特点是：可搬迁、观测精度高、自动化程度高、可观测大体积和不可到达的目标及适应性强等。

目前，对国际上已经采用的工业测量系统可归纳成以下几种类型：

(一) 解析工业测量系统 (Analytical Industrial Measuring System, 简称 AIMS)

“AIMS”的组成如下：美国 (K+E) 厂生产的 DT-1 型电子经纬仪两台或多台 (精度： $3.2''$)，实时数据处理软件，RS232 接口，(K+E) 厂的 802 微型计算机，有双软塑料磁盘站，64kB 存储器，30cm (12 英寸) 显像屏，全文数字键盘，磁盘、多路转换器、激光目镜各一只，一台点阵打印机和两只金属脚架以及一台工作车。

该系统在工件制造过程中，能以最短停机时间完成测量与计算工作，应用所带软件可就地处理数据。由实时所获得的三维坐

标求出工件的基本数据，如物件的直线性、平行性、正交性与平度等。它可以测定圆、球、圆柱、抛物面形等产品，并与设计的理论数值作比较。要求测量位置及高程的精度达到 0.05mm。

(二) 远测系统 (Remote Measuring System, 简称 RMS2000)

“RMS2000”的组成如下：该产品是瑞士 Wild 厂和德国 Leitz 厂合作制成，由 2 台至 4 台 Wild T2000 或 T2000S 电子经纬仪、王氏微型计算机 2200、软件、存储器、显像屏、特征码清单技术设备、多路转换器 (GMP1) 和 2m 因瓦横基尺构成。

该系统在采用联机方式时，通过一只多路转换器可将 4 台经纬仪联接至计算机；用脱机方式时可将 2 台电子经纬仪连至数据终端的 Wild GRE3。这种系统的特点是，从凸轮轴到钻井塔，不论大小和形状，凡不可接触、不可到达以及不便设置标志的目标，均可以进行现场的快速测量。因此，该系统也称为“无接触测量大目标的工业测量系统”。此外，该系统联机的观测值可在显像屏上以图解或数字方式显示，其所带的软件可将该系统连接至精密测图仪。系统测量的精度：观测 5m 大小的目标，其相对中误差达到 1:10 万~1:20 万，亦即绝对中误差为 $\pm 0.025 \sim \pm 0.05\text{mm}$ 。

(三) 工业测量系统 (Industrie-Meß-system, 简称 “Zeiss IMS”)

“Zeiss IMS”的组成如下：由两台原西德 Zeiss 厂的 ITH2 电子经纬仪（精度：0.6"）、HP85 (64kB) 计算机、校准设备、点阵式打印机、软件与横基尺。观测范围由 1.5m 至数百米，测量精度可达 $\pm 0.1\text{mm}$ 。

(四) 电子坐标测定系统 1 型 (Electronic Coordinate Determination System, Type1, 简称 ECDS1)

“ECDS1”的组成如下：由瑞士 Kerm 厂生产的两台电子经

纬仪 E_1 或 E_2 (精度: $1.6''$ 或 $0.5''$)、PDP I 计算机 (256kB)、VT101 终端针式打印机和横基尺。

(五) 全自动测量系统 (简称 Kern SPACE 及 Wild Auto TMS)

这两种工业测量系统采用的电子经纬仪, 能够由伺服电机驱动水平和垂直轴系, 也能进行调焦, 并在望远镜内安装一只用于获取目标的 CCD 影像接收器 (CCD 晶片) 和激光目镜, 从而可用于大型表面形状的测定或监测不可到达目标的测量过程的全自动化。为了自动化, 需要有装有操纵软件的专用微处理机, 这样, 一切部件直至传感器处理机均可用适当的软件通过控制器进行控制。

工作的时候可同时将 8 个测站联合起来, 若用两台经纬仪交会测定一点位置, 从观测、计算、坐标变换至存储, 约需 5~7 秒。每小时可测定 500 个点的三维坐标, 测定目标点的中误差小于 $\pm 0.1\text{mm}$ 。

(六) 三维测量流动工作站 (Mono Mobile 3D station, 简称 MONMOS)

三维测量流动工作站系采用一台全站型电子速测仪与计算机及其软件相结合的三维坐标测量装置。较典型的是日本 SOKKIA 公司生产的 NET2 全站仪 (测距精度: $1\text{mm} + 2 \times 10^{-6} \cdot D$; 测角精度 $2''$) 及附件 (测程 100m 的反射片; SDR4B 电子手簿; CPU: 16bit 微处理器) 构成工作站。这种工作站虽不是用两台电子经纬仪作空间交会, 但它能近距离获取物体的空间精密三维坐标, 具有工业测量系统的功能。

瑞士 Leica 公司的 Wild 厂生产的 APS 自动定位系统, 是由全站型电子速测仪 TM3000V/D 及其附件所构成。这种系统亦称为 APS 自动测量平台。三维测量流动工作站主要用于形体较大而

又不太规则的物体测量。

总之，实时经纬仪工业测量这项新技术正在迅速发展之中，1990年 Kern 厂又首次推出了以三维激光干涉仪为传感器的动态测量系统 SMART (System for Mobile Angle and Ranging to Target)，从而使连续运动过程的监测成为可能。

表 1-1 国外主要的电子经纬仪工业测量系统及设备

序号	系统的名称	简称	国家 厂名	电子经纬仪 及其精度	计算机 及其容量	其它设备
1	解析工业测量系统 (Analytical Industrail Measuring System)	AIMS	美国 K+E	DT-1 3.2"	KE802 (64kB)	▲显示终端 ▲双软盘驱动器 ▲打印机 ▲30cm (12 英寸) 显像屏 ▲激光目镜
2	远测系统 (Remote Measuring System)	RMS	瑞士 Wild 德国 Leitz	T2000 或 T2000S 0.5"	WANG SVP/ MVP/LVP (GRE3) 2200 微机	▲多路转换器 (GMP1) ▲横基尺 ▲显像屏
3	工业测量系统 (Industrail-Meß-system)	IMS	德国 Zeiss	ITH2 0.6"	HP85 (64kB)	▲标准设备 ▲阵式打印机 ▲横基尺
4	电子坐标测定系统 (Electronic Coordinate Determination System)	ECDS1	瑞士 Kern	E_1 、 E_2 1.6" 0.5"	PDP I (256kB) 或 HP85 (64kB)	▲VT101 终端 ▲阵式打印机 ▲横基尺
		ECDS2	瑞士 Kern	E_2 0.5"	Husdy HUNTER	▲VT101 终端 ▲阵式打印机 ▲横基尺
		ECDS3	瑞士 Leica	T1600 1.5" T2002 0.5" T3000 0.5"	386 以上 计算机	▲协处理器 EGA/VGA ▲双驱动器 ▲40MB 硬盘

续表 1-1

序号	系统的名称	简称	国家 厂名	电子经纬仪 及其精度	计算机 及其容量	其它设备
5	定位与坐标自动 计算系统 (Sys- tem for Posi- tioning and Au- tomated Coordi- nate Evaluation)	SPACE	瑞士 Kern	E ₂ -SE 0.5"	IBM PC-AT03	▲控制器 (E2-SC) ▲操作板 (E2-SP)
6	自动经纬仪测量 系统 (Automatic Theodolite Mea- suring System)	ATMS	瑞士 Leica	TM3000 0.5"	AT 兼容机	▲ 控制 单 元 (GSE1) ▲接口 (GIF11 RS232)
7	经纬仪测量系统 (Theodolite Measuring Sys- tem)	TMS	瑞士 Wild 德国 Leitz	T1600 1.5" T2002 0.5" T3000 0.5"	Compag 286/ 386/TV 或 Laptop	▲ 多路转换器 (GMP1)
8	三维测量流动工 作站 (Mono Mo- bile 3D Station)	MON MOS	日本 Sokkia	NET2 (全站仪) 2" 1mm+2× 10 ⁻⁶ ·D	CPU : 16 bit 微机及 SDR4B 电 子手簿	▲反射片

表 1-1 中列出了国际上已经提供用户的几种工业测量系统。

二、系统的应用

实时经纬仪工业测量系统使用范围广泛，尤其是在解决特种精密工程测量领域中的问题，已经发挥着愈来愈重要的作用。它的适用范围有以下诸方面：

1. 汽车、船舶、飞机、涡轮机、反应堆和发电站等在制造、组装和建设中的测量；
2. 复杂柔曲的骨架结构与安装系统的装配调正测量；
3. 天线、钻井塔、发射架及冷凝塔等高耸大目标的测量与较