

The book cover features a dark background with several abstract geometric elements. In the top left, there is a quarter-circle pattern composed of concentric arcs and small squares in shades of blue and white. Below this, on the left side, is a horizontal row of white rectangular blocks of varying heights, resembling a barcode or a digital signal. In the bottom left corner, there is a small, partially visible blue and white geometric pattern. The right side of the cover is dominated by large, stylized, 3D block letters. The letter '4' is green and yellow, the '5' is yellow and orange, and the '7' is red and purple. These letters are positioned as if they are floating or attached to the cover.

位置检测 与 数显技术

李 谋 主编

机械工业出版社

7171
U

位置检测与数显技术



李 谋 主编

严钟豪 主审



机 械 工 业 出 版 社

(京)新登字 054 号

本书系统而全面地阐述了用于直线和角度位置检测的感应同步器、计量光栅、磁栅、容栅等各种位置检测系统和数显系统的发展概况、工作原理、设计结构、制造工艺、精度检定、安装调试以及它们在机械、电子、仪器、国防领域的应用实例。

本书主要供机械、电子、仪表、计量行业从事感应同步器、计量光栅、磁栅、容栅等各种位置检测系统和数显系统的开发、设计、制造、推广应用工作的科技人员及管理人员参考之用,同时可供高等院校光电精密机械、电子技术、机电一体化、自动控制及仪器仪表等专业的师生作参考教材。

23.0/42

位置检测与数显技术

李 谋 主编

严钟豪 主审

*

责任编辑: 杨少晨 责任校对: 陈慧毅

封面设计: 王洪流 版面设计: 冉晓华

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

邮政编码: 100037

(北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ · 印张 $44\frac{1}{2}$ · 插页 6 · 字数 1226 千字

1993 年 7 月北京第 1 版 · 1993 年 7 月北京第 1 次印刷

印数 00001—6700 定价: 33 元

*

ISBN 7-111-03823-1/TM · 480

中国机床数显技术协会编委会

(第一届、第二届、第三届委员)

(排名不分先后)

编委会职务	姓 名	职 称	工 作 单 位	备 注
主任委员	李 谋	高级工程师	汉川机床厂	国家级专家
委 员	于锡武	高级工程师	航天部五〇二所	
委 员	刘思明	高级工程师	航天部七〇八所	
委 员	方晓兰	高级工程师	武汉重型机床研究所	
委 员	方建滨	高级工程师	上海市自动化研究所	
委 员	邵光伟	高级工程师	机械部北京机床研究所	
委 员	严钟豪	教授	沈阳工业大学	
委 员	周自强	高级工程师	中国航空精密机械研究所	
委 员	罗伟新	高级工程师	机械部第六设计研究院	
委 员	陈耀忠	高级工程师	昆明机床厂	国家级专家
委 员	胡国屿	副研究员	中国计量科学研究院	
委 员	杨良栋	高级工程师	机电部广州机床研究所	国家级专家
委 员	陈 瑜	高级工程师	机械部广州机床研究所	
委 员	陆永平	教授	哈尔滨工业大学	IEEE 高级会员
委 员	张健庭	高级工程师	上海市机床研究所	
委 员	张志广	高级工程师	新天精密光学仪器公司	
委 员	顾庆祥	副研究员	重庆大学	
委 员	凌仁宏	高级工程师	广东省机械研究所	
委 员	端木时夏	教授	上海机械学院	
委 员	万维新	高级工程师	湖滨仪器总厂	
委 员	王玉琨	高级工程师	机械部西安微电机研究所	
委 员	代绍钧	高级工程师	中国科学院光电技术研究所	
委 员	饶家崇	副研究员	中国测试技术研究院	
委 员	陈正岳	高级工程师	机械部第六设计研究院	
委 员	王唯品	高级工程师	中捷人民友谊厂	
委 员	赵复华	高级工程师	机械部第六设计研究院	

序

应用机电一体化技术,发展机电一体化产品,是振兴我国机械工业的必由之路。而位置检测和数显技术又是机电一体化技术中的基础技术之一。随着微电子和计算机技术的发展,采用光栅、磁栅、容栅和感应同步器等新型检测元件的自动检测技术已在自动控制、数显数控机床、航空航天、仪器仪表等广阔的领域得到了普遍的应用。

我相信,由中国机床数显技术协会组织国内有关大专院校、科研院所及企业的专家们编写的《位置检测与数显技术》一书的出版,将有助于促进我国数显数控技术和机电一体化技术更快的发展。

中国机床数显技术协会 名誉理事长
中国机床总公司 总 裁

权文鲁

一九九二年四月于北京

前 言

感应同步器、计量光栅、磁栅、容栅、球栅等位置传感器及其检测系统和数显系统是 50 年代至 80 年代国外发展应用的高新技术之一,在航空航天、精密机械仪器、数显数控机床、长度角度计量、机器人、自动机械和机电一体化等各个领域均得到了广泛的应用。例如美国阿波罗计划 (APOLLO—Program USA) 的卫星跟踪天线就采用了 HEIDENHAIN 公司的 ROC 绝对式旋转编码器。位置检测及数显技术也是我国重点发展和推广的新技术,十多年来,在机械、电子、国防等工业部门广为应用,取得了可喜的成绩。为了促进我国位置检测及数显技术的进一步发展、应用,为了满足高等院校教学、科研的需要,中国机床数显技术协会编委会根据数显行业多年来从事位置检测元件和数显装置开发、生产、应用的经验,并参阅了国内外有关文献和专著,组织编写了这本书。

本书是国内首次综合介绍感应同步器、光栅、磁栅、容栅和球栅的专著,全书共七篇,38 章,约 100 万字。

在第一篇中,简要介绍了国内外位置检测及数显技术发展的概况,综述了这几种“栅”式传感器的特点。第二、第三、第四篇是本书的重点,分别对感应同步器、光栅、磁栅三种应用最为广泛的检测元件、系统及其数显表进行了全面而深入的讨论,内容包括它们的工作原理、结构、设计、制造工艺、精度检定以及安装调试等。第五篇介绍了新的检测元件容栅和球栅,容栅检测系统以其微型化、能耗低的特点,在量仪、量具上应用极广,是一种很有发展前途的检测系统;在这一篇中还结合大规模集成电路和微机的应用探讨了数显表的几种发展方向。第六篇讨论可靠性,内容涉及到可靠性寿命和电磁兼容性,可靠性是机电一体化产品和电子产品的极为重要的质量指标。最后,也就是第七篇,以一定的篇幅在其第二章中阐述了应用中的技术基础知识,然后以大量的实例介绍了各种装置在各个领域的应用情况,并结合应用实例讨论了位置检测技术的最新发展。

为使本书具有综合性、理论性、实用性、资料性,除上述各篇正文外,在文末还附有编写本篇时的参考文献。在附录中给出了:①感应同步器、光栅、磁栅部分标准和目录;②国内外计量光栅文献资料索引;③美国感应同步器专利目录;④Heidenhain 光栅产品介绍;⑤机床坐标和运动方向命名方法;⑥几种数显表电原理图。

本书主要供机械、电子、仪表、机电一体化、计量等行业从事开发、设计、制造、推广应用工作的科技人员和管理人员参考之用;同时可供高等院校精密机械仪器、光学、电子、机电一体化、工业自动化等专业的师生作参考教材。

本书由李谋主编,由李谋、张健庭、陆永平、严钟豪等二十人分别编写各篇、章、节:

第一篇:概述

第一章和第二章全部由李谋编写

第二篇:感应同步器位置检测系统

第一章和第八章由李谋编写;

第二章、第五章和第六章由陆永平编写;其中第六章的第三节由李谋编写;

第三章由曾月明、方小兰编写;

第四章由曾月明、李谋编写;

第七章由凌仁宏、朱庆棠、邝子英、李谋编写;

第三篇:计量光栅位置检测系统

第一章、第二章、第三章、第四章、第五章、第六章和第八章由李谋编写;第五章第一节之二,零位光栅设计中的参数设计和编码设计由谭炳初编写;

第七章由严钟豪、王子颢编写；

第四篇：磁栅位置检测系统（全篇由张健庭汇总）

第一章由谭锋编写；

第二章由张健庭、王廷恕、谭世中编写；

第三章由金伟毅、王廷恕编写；

第四章由周伟裔编写；

第五章由吴雨林编写；

第六章由张健庭编写；

第七章由张健庭等编写；

第八章第一节由秦树人编写，第二节由胡国屿、李谋编写；

第五篇：数显检测系统的发展

第一章第一节、第二节和第三节由李谋编写，第四节由严钟豪编写。

第二章，第一节、第二节和第三节由李谋编写，第四节由裘惠孚编写；

第三章由李谋编写；

第六篇：数显系统的可靠性

第一章由李谋、王子颢编写；

第二章第一节、第二节和第三节由严钟豪编写，第四节和第五节由李谋编写；

第七篇：应用

第一章至第七章全部由李谋编写。

本书由严钟豪教授主审（审定第一篇至第六篇），端木时夏教授协审（审定第七篇）。

参加审稿的还有：顾元恺、方小兰、陆永平、凌仁宏、顾庆祥、张健庭、杨良栋、杨世雄、谭炳初、万维新、杨少晨、陶延寿、王璞、周因栋、陈延福、胡国屿。

谢光亮、缪满荣、蔡善玢、唐玉增、胡泰来、矫永耀、孙国良、周光华、史继文对本书的编写、出版工作提了宝贵意见。

在本书编写过程中，提供了资料和素材的有：杨世雄、端木时夏、陈耀忠、严关根、王邦益、张志广、胡国屿、于锡武、孟宪华、周自强、刘宁海、李春阳、袁福麟、于在仁、沈福金、谭炳初、徐芳信、郭天明、刘思明、李青松、陈正岳、万维新、王忠祜、姚家崇、杨家振、方小兰、肖荣太、杨祖雄、王代璠。

本书从组稿、编写到定稿历时五年，在所有编写者和热心的朋友共同努力下，即将出版，与读者见面。此刻，我谨向参加编写、审稿和提供宝贵资料的所有专家、教授、同行表示深切的谢意！向主审、协审和责任编辑表示感谢！向机械工业出版社和中国机床总公司、陕西省数显数控协会、湖滨仪器总厂、湖北省仪器仪表公司、上海市机床研究所、上海机床电器厂、昆明机床厂，为本书的出版、发行给予的大力支持表示感谢！

本书在协会系统内部的发行工作统由陕西省数显数控协会归口（通讯地址：西安桃园路机械部西安微电机研究所转。邮政编码 710077）。

最后，我要特别向具体策划和全面指导本书编写、出版工作的中国机床数显技术协会副理事长兼秘书长顾元恺高级工程师表示最诚挚的感谢，没有他的辛劳，本书是不可能付印出版的。

由于本书涉及的内容和学科较为广泛，编者水平所限，书中不妥和错误之处在所难免，恳请同行、专家及广大读者不吝指出，以便再版时更正。

李 谋 一九九二年五月写于西安
陕西机械学院精密仪器工程系

目 录

第一篇 概 述

第一章 绪言	(1)
第一节 位置测量的意义	(1)
第二节 位置测量和数显技术发展概况	(3)
第二章 基本工作原理和分类	(6)
第一节 基本工作原理	(6)
第二节 分类	(8)
参考文献	(11)

第二篇 感应同步器位置检测系统

第一章 概述	(12)
第一节 发展概况	(12)
第二节 国内外产品水平	(14)
第二章 感应同步器的工作原理	(23)
第一节 工作原理	(23)
第二节 运行方式	(28)
第三节 输出电动势	(30)
第三章 感应同步器设计	(34)
第一节 设计基础	(34)
第二节 直线感应同步器设计	(42)
第三节 旋转式感应同步器设计	(45)
第四章 感应同步器的制造	(59)
第一节 感应同步器的基本参数和主要技术要求	(59)
第二节 工艺流程和工艺要求	(61)
第三节 感应同步器模板制造方法	(62)
第四节 超微粒版及光刻胶工艺	(68)
第五节 感应同步器的材料选择	(71)
第六节 感应同步器制造工艺	(72)
第五章 感应同步器的误差和精度	(78)
第一节 感应同步器的综合误差及其构成	(78)
第二节 零位误差	(80)
第三节 细分误差	(97)
第六章 感应同步器位模变换误差及补偿	(100)
第一节 感应同步器导致的变换误差	(100)
第二节 变换电路导致的变换误差	(103)
第三节 旋转式感应同步器正交误差的补偿	(107)

第七章 感应同步器数显表	(112)
第一节 鉴幅型数显表	(113)
第二节 鉴幅型数显表的派生产品	(119)
第三节 鉴相型数显表	(121)
第四节 脉冲调宽型数显表	(124)
第五节 角度测量数显表	(131)
第八章 感应同步器精度检定	(135)
第一节 圆感应同步器精度检定	(135)
第二节 直线感应同步器精度检定	(140)
第三节 感应同步器数显表精度检定	(154)
参考文献	(156)

第三篇 计量光栅位置检测系统

第一章 概述	(157)
第一节 国内外发展概况	(157)
第二节 计量光栅的分类	(162)
第二章 莫尔条纹原理	(164)
第一节 长光栅的莫尔条纹	(164)
第二节 圆光栅的莫尔条纹	(184)
第三章 光学系统设计基础	(196)
第一节 光电信号对比度及其影响因素	(196)
第二节 一块衍射光栅光场中的重复花纹	(199)
第三节 光电信号中谐波的消除方法	(204)
第四节 栅距实用范围的选择	(207)
第四章 计量光栅的光学系统	(212)
第一节 鉴幅型(计数)光学系统	(212)
第二节 鉴相型光学系统	(216)
第三节 其他光学系统	(223)
第五章 零位光栅和光栅读数头的设计	(225)
第一节 零位光栅	(225)
第二节 光栅读数头	(232)
第六章 计量光栅制造	(239)
第一节 长光栅的制造	(239)
第二节 圆光栅的制造	(251)
第七章 光栅数显表	(263)
第一节 光栅数显表的基本构成	(263)
第二节 光栅数显表的基本电路	(263)
第三节 普通光栅数显表	(274)
第四节 微机光栅数显表	(280)
第八章 误差分析和精度检定	(284)
第一节 光栅位置检测系统精度分析	(284)
第二节 长光栅检测装置	(287)
第三节 圆光栅检测装置	(300)

参考文献	(302)
------------	-------

第四篇 磁栅位置检测系统

第一章 概述	(304)
第一节 国内外发展概况	(304)
第二节 磁栅的分类	(305)
第二章 磁栅数显系统的工作原理	(307)
第一节 磁栅尺与录磁原理	(307)
第二节 磁头与拾磁原理	(308)
第三节 磁栅数显表与检测原理	(310)
第三章 磁栅的设计	(312)
第一节 磁栅尺的设计	(312)
第二节 磁头的设计	(316)
第四章 磁栅数显表	(320)
第一节 磁栅数显表的功能框图	(320)
第二节 主要电路	(322)
第五章 磁栅微机多功能数显表	(329)
第一节 磁栅微机数显表的主要功能	(329)
第二节 磁栅微机数显表的原理框图	(330)
第三节 磁栅微机数显表的计算机硬件电路设计	(332)
第四节 磁栅微机数显表的计算机软件设计	(336)
第六章 激光录磁与精度检测	(339)
第一节 激光录磁	(339)
第二节 磁栅数显系统的误差组成	(340)
第三节 磁栅数显系统的细分误差	(340)
第四节 磁栅数显系统的精度检测	(342)
第七章 精度分析、磁头电路调整、其他	(345)
第一节 影响磁栅系统细分精度的一些因素及分析	(345)
第二节 磁头放大电路的调整	(350)
第三节 9m 磁栅	(351)
第八章 磁栅盘的制造、录制和应用	(353)
第一节 磁栅盘的制造、录制	(353)
第二节 磁栅盘的应用	(359)

第五篇 数显检测系统的发展

第一章 数显表	(361)
第一节 采用 LSI 的数显表 高可靠性数显表	(361)
第二节 采用微机的数显表 多功能数显表	(370)
第三节 特殊功能数显表	(380)
第四节 感应同步器/光栅/磁栅兼容数显表	(385)
第二章 容栅位置测量系统	(388)
第一节 概述	(388)
第二节 SYLVAC 测量系统	(390)

第三节 FARRAND 测量系统	(394)
第四节 实用中的容栅系统	(396)
第三章 球同步器	(403)
第一节 概述	(403)
第二节 球同步器的基本工作原理	(404)
参考文献	(406)

第六篇 数显系统的可靠性

第一章 可靠性预测和试验	(407)
第一节 可靠性概述	(407)
第二节 可靠性预测	(412)
第三节 可靠性设计	(420)
第四节 可靠性试验	(423)
第五节 可靠性管理的几个重要环节	(438)
第二章 干扰的抑制与防护	(448)
第一节 电磁干扰的理论分析	(448)
第二节 干扰源和干扰的抑制	(457)
第三节 受干扰设备对干扰的防护	(462)
第四节 干扰量的测量	(466)
第五节 电气设备电磁兼容试验	(468)
参考文献	(473)

第七篇 应用

第一章 概述	(474)
第一节 概况	(474)
第二节 应用效果	(475)
第二章 应用技术基础	(485)
第一节 精度概念及定位准确度表示方式	(485)
第二节 接长技术	(492)
第三节 阿贝原理	(507)
第四节 安装变形误差	(511)
第五节 误差补偿	(513)
第三章 在金切机床上的应用	(522)
第一节 在普通机床上的应用	(522)
第二节 在精密机床上的应用	(527)
第四章 在精密机械仪器上的应用	(533)
第一节 三坐标测量机	(533)
第二节 万能测长仪	(536)
第三节 传动链测试仪	(537)
第四节 圆光栅在高精度编码器和仪器上的应用	(540)
第五章 数显量具	(541)
第一节 发展概况	(541)
第二节 数显卡尺	(542)

第三节 数显千分尺	(545)
第四节 数显高度规	(549)
第五节 数显百分表(千分表)	(551)
第六章 其他应用	(554)
第一节 分步重复精缩照相机	(554)
第二节 转台	(555)
第三节 特殊应用	(558)
第七章 组装式编码器	(564)
第一节 旋转式编码器	(564)
第二节 直线式编码器	(568)
参考文献	(578)
附录 1 感应同步器、光栅、磁栅标准	(580)
附 1-1 感应同步器、光栅、磁栅数显装置可靠性考核办法, JB/GQ1135-88	(581)
附 1-2 感应同步器 名词、术语/ JB3585.1-84	(583)
附 1-3 感应同步器 型式和基本尺寸, JB3585.2-84	(588)
附 1-4 旋转式感应同步器 基本参数和技术要求, JB3586-84	(591)
附 1-5 旋转式感应同步器 试验方法, JB/GQ1139-89	(594)
附 1-6 标准型和窄型直线式感应同步器 基本参数和技术要求, JB3587-84	(600)
附 1-7 标准型和窄型直线式感应同步器试验方法, JB/GQ0565-84	(603)
附 1-8 感应同步器数显表 技术要求, ZB J42 017-88	(608)
附 1-9 感应同步器数显表检验规则, JB/GQ1113-87	(613)
附 1-10 计量光栅 玻璃光栅尺技术要求, ZB N34 002-88	(618)
附 1-11 计量光栅 玻璃光栅盘技术要求, ZB N34 003-88	(622)
附 1-12 光栅数量表, ZB J51 006-89	(626)
附 1-13 光栅线位移传感器, ZB J51 007-89	(631)
附 1-14 光栅角位移传感器, ZB J51 008-89	(640)
附 1-15 光栅线位移测量系统, ZB J42 036-89	(646)
附 1-16 计量光栅 数显表试验方法, ZB N34 001-88	(651)
附 1-17 磁栅数显表 技术条件 ZB J42 035-89	(654)
附 1-18 磁栅数显表试验方法 JB/GQ 5054-88	(656)
附 1-19 磁栅线位移传感器 技术条件, ZB J42 034-89	(659)
附 1-20 磁栅线位移传感器 试验方法, JB/GQ 5053-88	(662)
附 1-21 磁栅线位移测量系统 ZB J42 033-89	(665)
附录 2 计量光栅文献资料索引	(668)
附录 3 感应同步器专利号(美国)	(680)
附录 4 HEIDENHAIN 光栅产品介绍	(683)
附 4-1 Heidenhain 的产品种类和系列	(683)
附 4-2 Heidenhain 的量仪量具系列	(685)
附 4-3 Heidenhain 的密封式直线编码器系列	(686)
附 4-4 Heidenhain 的敞开式直线编码器系列	(687)
附 4-5 Heidenhain 的(单通道)增量式旋转编码器	(688)
附 4-6 Heidenhain 的 2 通道增量式旋转编码器	(690)
附 4-7 Heidenhain 的绝对式旋转编码器	(691)

附 4-8 Heidenhain 的数显表和多功能显示单元	(692)
附录 5 机床坐标和运动方向的命名	(693)
附录 6 几种数显表电原理图	
附 6-1 直线感应同步器数显表, SF13B 型(函数变压器, 鉴幅型), 数字分辨率 0.01mm, 湖滨仪器总厂	
附 6-2 直线感应同步器数显表, ST-L _{2, 3B} 型(脉冲调宽, 鉴幅型) 数字分辨率 0.01mm, 航天数显中心	
附 6-3 圆感应同步器数显表, ST1 型(脉冲调宽, 鉴幅型) 数字分辨率 1", 上海机床电器厂	
附 6-4 直线感应同步器数显表 SFL-1 型(鉴幅型, 微机表) 数字分辨率 0.01mm, 湖北省仪器仪表公司	
附 6-5 磁栅数显表, ZCB-10 型 数字分辨率 0.005mm, 上海市机床研究所	
附 6-6 直线光栅数显表, GSB-12 型 数字分辨率 0.005/0.01mm, 北京第一机床电器厂	

第一篇 概 述

第一章 绪 言

第一节 位置测量的意义

一、长度和角度测量的意义

位置测量主要指长度和角度的测量。长度和角度是两个极为重要的物理量,长度是国际单位制的七个基本物理量(长度、质量、时间、电流、热力学温度、物质的量和发光强度)之一。而角度通常是指平面角。

时间和空间是物质存在的基本形式。一切物体,大到天体、山川、城市,小到舰船、飞机、航天器、车辆,只要它存在(静止或运动)就有其位置(方位、距离、经纬度),也就有位置测量的问题;一切机械、仪器、设备,只要工作,也立即与长度和角度位置发生关系,存在着位置或位移测量问题。在机械制造部门,长度和角度测量又是几何量测量的重要内容。关于几何量测量的重要性,瑞士一位技术评论杂志总编辑指出:高度工业化国家目前把全部劳动力的约 10%用来担任测量任务,其中 60%~90%的工作量(视工业部门不同而异)用于几何变量的检测。

高精度精密机床和高精度精密量仪作为工作母机和测量母机,是各种机械获得精度的基础,而它们本身的精度又依赖于长度、角度、圆度、几何精度等基础机械技术,其中长度测量技术和圆分度技术的关键是位置测量元件的精度及其读出精度,而这就是本书要讨论的主要内容。具体来说,我们又只重点介绍计量光栅、感应同步器、磁栅和容栅四种测量系统,它们都是近 30 年发展起来的新型位置测量系统。它们(以及激光)与当代微电子技术相结合,已成为现代位置测量的主要方法,在计量、工程测量和现代武器、空间技术等的发展中发挥了重要作用,高精度位置测量技术已成为高科技的组成部分。

二、关于测量的新概念

传统的观念认为:测量是耗资的项目,只有加工过程才创造价值。新的观点则认为,测量和加工一样,都是增值的重要组成部分。加工的结果获得“硬件”——机器或零件本身;而测量的结果是获得“软件”——测量数据。还应该注意,工业计量不仅提供生产质量,保证所需的各种数据,它已开始从被动测量向主动测量转变;过去是通过被动的、事后的尺寸检验让符合标准的产品出厂,今后的自动化生产将越来越表现为通过对设备、工具和环境的严密控制,预先决定产品的质量。这里的“生产设备”不仅指加工设备(带有位置测量功能的),也包括测量设备——它进入了生产线,成为生产设备的一部分。测量由被动转向主动,由离线测量转向在线测量,这就是所谓“决定论计量学”。

在传统的观念受到挑战的同时,今天人们开始接受这样一种观点:主动的和在线的测量对产品质量保证具有决定性的重要意义,它使产品达到了更高的可靠性和精度,并具有互换性,以满足现代科技发展的需要。它使产品达到更高的质量,能满足国际标准的要求,以进行国际竞争。而新的测量观念的实现,依赖于包括前述新型位置测量系统在内的各种测量系统的发展。

三、位置测量和数显技术在国民经济中的作用

(一)位置测量系统是各种机械、仪表、工具、航空航天器和现代化武器获得位置精度的基础。数显技术作为实用新技术,则是国民经济发展中用以改造现有机床、机械设备和开发机电一体化新产品的主攻方向之一,也是实现数控化、自动化的基础。我国“八五”期间要求:

(1)继续调整机床工业产品结构,将数显机床、数控机床、精密自动量仪和电子量具等机电一体化产品列为重点发展的产品;

(2)组织力量,用数显、数控技术改造现有机床。

“七五”期间由于采用位置自动检测和数显技术所获得的经济效益已超过几十亿元,“八五”期间要求形成产业。

(二)数显化的概念的扩展

随着位置测量和数显技术本身的发展,数显化的含义已不局限于仅指数字读出(Digital Read-out),广义的数显化包括位置的数字检测、数字读出显示、位置数控(区别于全功能数控)和在线测量。

数显系统是柔性自动化的初级阶段,数显装置又常是全功能数控系统的重要组成部分,它的进一步应用和发展,将对国民经济,特别是机械工业的发展产生越来越深刻的影响。

四、长度和角度测量的单位

长度(或角度)的测量,就是将某一长度(或角度)与长度(或角度)的计量单位相比较,以确定被测量与计量单位之比值(或倍数),即量值。在此先简要介绍一下长度和角度测量的单位:

(一)长度单位——米(m)

国际单位制中的长度单位是“米”,符号为“m”,米的自然标准是光波波长,1m 等于 Kr(氪)—86 原子的 $2P_{10}$ 和 $5d_5$ 能级间跃迁所辐射的真空波长的 1 650 763.73 倍。

在工程中,长度单位用毫米(mm),即米的千分之一表示。

米的实物标准是精密线纹尺和端面标准规。

米的工作标准:在位置自动测量和数显中多采用计量光栅、感应同步器(在此也可简称为电栅)、磁栅和容栅,它们采用以 mm 为单位的十进制,因而获得广泛的应用。

对于采用英制的少数地区,现在都利用“公/英制”(mm/in)转换功能实现。

(二)角度单位

在角度测量中,可以按照实际需要的角度制来制造相应的测量元件。

1. 弧度

平面角的国际单位制辅助单位是“弧度”(rad)。一个平面角所对弧长 s 中所含半径 R 的倍数即是该平面角的弧度值:

因弧度值等于 s/R ,故 1 圆周角等于 2π rad。

在实际应用中,数显、数控系统很少采用弧度为单位,而多采用六十进制的度、分、秒。

2. 度(°)、[角]分(')、[角]秒(")——六十进制

六十进制是我国国家选定的法定计量单位,在角度测量、大地测量、航海、工程测量和时间记录中广为采用。规定 1 圆周角为 360° ,其换算关系如下:

$$1 \text{ 个圆周角} = 360^\circ = 21,600' = 1,296,000''$$

$$1^\circ = 60' = 3,600''$$

$$1' = 60''$$

当角度值小于 $1''$ 时,按 10 进制。

3. 度(g)、分(c)、秒(cc)——百进位制

百进位制平面角单位既非国际单位制(SI)辅助单位也不是我国选定的法定计量单位,其符号也与SI的克(g)、库伦(c)等重复,在实际应用中要注意其区别。

百进位制规定1圆周角为400g,其换算关系如下:

$$1 \text{ 圆周角} = 400g = 40,000c = 4,000,000cc$$

$$1g = 100c = 10,000cc$$

$$1c = 100cc$$

4. 密位制

在军用仪器中常采用密位制,主要有两种:规定1圆周角为6000密位,或6400密位。以密位为角度单位时的写法和读法如下:

密位数	写法	读法
6000	60-00	六零一零零
600	06-00	六一零零
60	00-60	零一六零
6	00-06	零一零六
0.6	00-006	零一零零六
3254	32-54	三二一五四

有采用128极圆感应同步器和十进制数显表(细分一个周期到1/100)组合来实现6400密位测量的例子,128极相当于64个周期,细分后最低位显示值正好是1密位。

5. 二进制

二进制多用于绝对制光栅码盘。

第二节 位置测量和数显技术发展概况

一、现代化测量的标志——数字化

几千年来,人们一直在对长度、长度的单位和长度的计量方法进行研究,随着近代工业和科学技术的发展,对测量提出了新的要求:高精度、大量程和数字化。裁衣服只要精确到几毫米,而现代精密机械和仪器的移动要求达到微米级、亚微米级,甚至更高。特别是测量的数字化,它使位置测量达到新的水平:参数的数字化(量化)使得测量和计算技术得以结合,从这个意义上说,数字化是现代化的标志,数字化预示着自动化的到来。30多年来,世界多国都在致力于发展位置数字测量技术,寻找最理想的测量元件和信息处理技术,到目前为止,为人们所公认并已得到广泛应用的是计量光栅、感应同步器和磁栅测量技术,近年又出现了容栅、球栅测量技术。

二、新型位置测量系统的特点

数控系统发展的结果是开环系统(采用步进电机)让位给闭环系统,从此数显检测装置成为闭环数控系统的必不可少的组成部分——位置测量反馈系统。进入80年代以来,随着微机的应用,高级的数显系统功能更臻完善,出现了具有存储、运算、编程、补偿、自诊断、定位控制等功能的数显装置,其性能甚至已超过早期的简易数控系统。

30年来,计量光栅、感应同步器、磁栅和容栅等新型检测元件的先后出现和商品化是数显技术

发展的代表。50年代初,美国 Farrand 公司发明了感应同步器,用于经纬仪和导弹制导系统;几乎是同时,英国 Ferranti 公司将计量光栅用于数控外形铣床,并第一次用短光栅接长的方法达到了长达 9.15m 的量程。在当时这似乎是一个奇迹,60 年代末,随着磁带声像录返技术的发展,日本 SONY 公司的磁栅数显系统应运而生,近年来瑞士 SYLVAC 公司又推出了最新的容栅数显系统,它在微型化方面迈出了决定性的一步,为小型量具、量仪的数显化开辟了一个广阔的天地。

这四种检测元件和与之相配的数字系统,有其相似的特点和优点:

1. 都易于实现位置/电信号的转换 利用光电、磁电和电感、电容感应原理,经过简单的信号转换和接口电路后即可用于显示、计算和控制。

2. 高分辨率 直线位置测量的分辨力可达 0.001mm ,最高可达 0.0001mm ,角位置测量的分辨力可达 $0.5''$,最高 $0.36''$ 故分辨率均很高。

3. 高精度 直线位置测量准确度一般可达 $0.01\sim 0.03\text{mm}$ (用于普通机床),最高可达 0.003mm (坐标镗床)。既适用于一般机床设备,也完全能满足高精度机床、仪器的要求。特别是圆分度测量,其分度准确度一般可达 $6''\sim 10''$,最高可达 $1''$ (精密转台),甚至更高,大大超过传统的机械或光学方法。

4. 大量程 采用接长的方法可以扩大量程,而钢带检测元件的长度也可以达到大量程。据介绍,单根钢带计量光栅的长度达 54m,单根磁栅的长度能做到 30m,直线感应同步器则可接长使用到 40m 长,现代精密制造工艺已可做出薄至 1.5mm ,长度为 3m 的整体微型玻璃标尺光栅。因此小至精密仪器,大至超重型机械均可采用。

5. 其他特点 安装调整容易,无磨损,寿命长,小型化、组装化、测量速度快,多功能等等。

位置测量与数显技术的迅速发展与精密机械工程和电子技术的发展分不开。例如,计量光栅的应用基础是著名的摩尔条纹特性。其实早在 1874 年物理学家瑞利就已发现了这一重要现象,但直到 80 年后,于本世纪 50 年代,随着光栅复制技术和电子技术的发展才得到实际应用。在 50 年代和 60 年代,由于电子装置可靠性低,数显技术发展较慢。70 年代中、大规模集成电路和微机的产生、普及和应用使数显技术进入了一个全新的时代。近年来专用大规模集成电路数显表和微机多功能数显表大量出现,专用芯片的集成度已达到 8000 以上。80 年代的数显装置,体积缩小,性能提高,功能日益完善,成本降低,可靠性提高,出现了快装整体盒式结构,使数显技术迅速普及。新一代容栅数显则融微细工程和电子技术为一体,成为机、电、仪一体化的代表产品,使之出现了新一代数显卡尺、数显千分尺、数显百分表、数显高度尺等多种数显量具。数显装置应用的另一重要领域是量仪、代表产品是三坐标测量机,已广泛用于航空工业和机械工业的各个领域,它还可与数控机床组成 CAD/CAM 系统。此外还有数显的齿轮量仪、测长仪和工具显微镜等。随着计算机的广泛应用,数显系统正向在线测量和反馈控制方面扩展其应用领域,以进行自动测量,数据处理,打印绘图,并与自动生产和管理系统连为一体。

现代的数显技术应用领域日益广泛,数显装置产业方兴未艾。现在世界上有几十家专门生产数显检测元件和数显系统的大公司和厂家,据 1985 年不完全统计,全世界年产数显装置约 60 万套,其主要厂家产量见表 1-1-1 所列。