

精密刻划和线纹计量的进展

邹 自 强

摘要 本文回顾总结了长春光机所卅年来在精密刻划和线纹计量领域所进行的工作，归纳介绍了主要成果和进展。

序 言

精密刻划和线纹计量是长春光机所最早建立的技术基础之一，1952年，即在建所筹备阶段，就已开始了有关的工作，1955年建立了刻划计量研究组，经过开展研究和培训队伍，到1962年发展成一个专门的研究室，这些是解放后我国在这个领域中最早建立的专业研究机构，后来几经变动，发展成现在的精密刻划线纹计量研究室。

精密刻划和线纹计量是紧密关联、相辅相成的两个领域：线纹计量是精密刻划的眼睛，它是精密刻划不断前进的必要前提；精密刻划是线纹计量的基础，它为线纹计量提供了手段和条件。基于这种理解，我们始终紧紧将这两方面的研究工作结合在一起进行。根据我们的经验，精密刻划这个领域可以分成精密刻划工艺和精密刻划机械两个学科分支，线纹计量这个领域可以分成线纹计量方法和线纹计量仪器两个学科分支，本文将按以上这四个分支总结长春光机所卅年来的有关研究工作。

为了适应工作的需要，我们还在莫尔条纹技术^{[8][17]}、精密机构设计^{[2][9][10]}、超精研磨加工^[7]等学科基础方面进行了相应的研究。文末所列参考文献系公开发表的部分，我们的内部资料未包括在内。

精密刻划工艺

在我们的经历中，前十年主要研究刀刻工艺，后二十年主要研究光刻工艺。

刻蜡腐蚀是一种刀刻工艺。我们对以沥青、松香、乳香树脂、蜂蜡等为原料的防酸层进行了研究，建立了通用离心上腊法和提升上腊法，建立了氢氟酸气体腐蚀和液体腐蚀法，这些工艺都已在全国许多单位推广应用。

码盘刻划方法是我们重点研究的内容，我们研究成一种接触复印方法^[6]，一个包含了各个码道图案的扇形母版通过一个特殊刀架把图案接触复印到工件上，各个码道的线条一次形成，即提高了效率，又保证了圈间精度。不同的图案由穿孔带控制曝光，一个不论多少位的码盘都可在1至2小时内刻完。1981年这一码盘刻划法获得了国家科委四等发明奖^[9]。

我们还先后研究成功火棉胶乾版^[20]、湿版工艺，重铬酸盐复制工艺，虫胶镀铬复制工艺^[15]等，并对超微粒感光乳剂以及近年来对光致抗蚀剂工艺进行了试验研究^[24]。

廿多年来，先后为国防和民用部门刻制成多种度盘，数十种编码盘，从九位到廿一位，数

十种光栅盘，从数百条线到数万条线，形成了码盘和光栅盘两个系列，并运用复制方法大批生产供应全国许多单位。我国第一次核试验、第一次洲际导弹试验等重要任务中，都使用了我们研制的码盘和光栅盘。

精密刻划机械

精密缩放机用于刻划高精度分划板，它采用平行四边形机构，各臂都吊起减重，并用隔热材料包裹，活动关节用顶尖加垫片精研定位，采用一个对刀显微镜调整刻刀位置。因此整机精度比一般缩放机高，达到了 ± 1 微米。

阿基米得螺旋线刻划机用于刻划测微螺旋线分划板，它采用了丝杆杠杆机构，在总体布局上符合阿贝原理，丝杆一侧设有校正环节，能减少系统误差，并使加工基准与使用基准重合，刻出的螺旋线精度达到了 ± 1 微米。这种机器已推广至上海光学仪器厂批量生产。

圆刻机是我们廿多年来不断研究的主要对象：59~60年曾试制了一台机械式一米圆刻机，63年建成了一台光电圆刻装置并用校正方法刻出了试验性度盘^[62]；71年研究建成了一台光电圆刻机，用光电控制刻出了成品码盘；经过改进后来又建成了另一台光电模拟机，除间歇刻划外，进一步试验成了连续刻划方法^{[13][19]}；在以上工作的基础上，经与昆明机床厂、大邑光电所合作于74年研制成0.2秒光电圆刻机。

经过以上15年的摸索试验，研究形成了一种光电控制圆刻技术，它的特点是：利用传统的机械方法进行分度粗定位，再用光电控制对误差进行微量校正。这是一种机电结合、粗精结合的方法，和国外已有的方法相比，电控系统大为简化；可进行间歇和连续两种刻划；可进行刀刻和光刻两种工艺；还便于对现有机械式圆刻机进行光电提高。

线纹计量方法

刻划形成的各种线条必须用相应的各种计量方法进行检验。五十年代中期开始，我们先后开展了线纹尺、度盘、螺旋线、分划板等计量检验方法的研究。

度盘直径误差的检测，我们先后试验了单常角法、多常角对称联系法、全组合法、标准盘比较法、双盘双向比较法等。近年来，我们在光电检验的基础上，研究成功了细分采样法^[29]，可以对度盘刻线逐条地进行动态检验，使检验效率提高了几个数量级，使许多检验误差影响减小，并进而可以运用组合方法进一步进行平差。

检测圆光栅的光电定角比相法是我们近十年来不断研究改进所取得的一种成果^[34]，它用指示光栅构成的读数系统代替显微镜读数，可以进行动态测量，运用单常角、双常角、多常角等方式，提高了检测精度，此法所用设备简单，不需要分度基准元件，可以检测任意进制任意线数圆光栅。此法已经推广至国内兄弟单位。

轴颈圆度的检测是与我们工作密切有关的一个问题，我们最初试验了富氏分析法^[7]，后来研究成一种误差联系法，通过电子计算机解十二元线性方程组，在使用时可以用特殊设计的运算表格方便地求得误差数列。另一种是简化计算法，适合车间现场快速检测^[16]。这些方法已在国内推广使用。

线纹计量仪器

57年至65年我们先后研制了三台度盘检查仪,近年经常使用的一种采用V弧轴系,调整一次可维持使用数年,精度较高。

码盘光电检验仪用于检验码盘和二进制圆光栅。它的核心是一块65536线的圆光栅,用双五头系统读取莫尔条纹信号与被测盘信号进行相位比较,误差曲线自动记录下来,能够全面反映刻划误差^[12]。仪器连续使用多年,在完成大量实测任务中发现了码盘中周期误差,经过光电控制,这种误差得到了充分的消除^[18]。

六十进制光电圆分度检验仪是近年取得的重要成果^[31],仪器主轴上装有一块高精度大圆光栅,用多头平均读取莫尔条纹信号,再经脉冲填充细分400等分,以此做为分度基准。测量度盘时,采用动态光电显微镜瞄准刻线,经一系列电子学处理产生前沿陡峭的采样脉冲去作用基准数字信号。测量圆光栅时采用莫尔条纹读数系统。仪器设有自检系统,可判断仪器工作是否正常。单次测量中误差,对圆光栅为 $\pm 0.04''$,对度盘为 $\pm 0.06''$,比较测试的一周时间为四分半钟^[32]。

在码盘和圆光栅的检测中,还开展了均匀性的检测和码道间关系误差的检测^[29];均匀性的检测在三台检验仪上进行,码道间关系误差的检测在一台自制的设备上进行。

参 考 文 献

- [1] 蒋潮江;东北科学通讯,1952.2.
- [2] 邹自强;上海全国刻划会议报告,1959.
- [3] 邹自强;匈牙利布达佩斯国际计量会报告,1960.
- [4] 邹自强;国外机械,1963,5.
- [5] 邹自强;62年全国测绘仪器年会报告,测绘学报,1963.1.
- [6] 蒋潮江;全国刻划会议报告,1965.
- [7] 邹自强、马龙生等;全国精测会议的报告(济南),1966.
- [8] 邹自强、朱应时;全国精测会议报告,1966.
- [9] 邢瑞祥、朱应时等全国精测会议报告,1966.
- [10] 十六室;417鉴定会的报告,1967.
- [11] 邹自强、朱应时;318会议报告,1968.
- [12] 十六室;南宁全国精测会议论文集,1974.
- [13] 十六室;宁波全国刻划会议报告,1974.
- [14] 十六室;光学仪器情报,1977.
- [15] 汪国孝、温忠义等;上海数显会议报告,1977,华北照相刻划技术会议报告,1980.
- [16] 邹自强;全国形位误差测试会议报告,1978.机械工业标准化,1979,3.
- [17] 朱应时;全国精测会议报告,合肥,1979.
- [18] 杨进堂;全国精测会议,合肥,1979.
- [19] 邹自强;北京全国仪器仪表学会成立会议的报告,1979.
- [20] 于志华等;华北照相刻划技术交流会报告,1980.
- [21] 朱应时、杨进堂;成都全国刻划技术交流会报告,1980.
- [22] 汪国孝、何春润;全国刻划技术交流会报告,1980.
- [23] 周世红;全国光电技术交流会报告,1980.

- [24] 蒋潮江、张祝山等，全国刻划技术交流会（成都）报告，1980.
- [25] 朱应时，光学机械，1981，2.
- [26] 邹自强，全国轴系会议的报告，1981.
- [27] 邹自强，全国角度计量会议的报告（九江），1981.
- [28] 朱应时，全国角度计量会议的报告（九江），1981.
- [29] 李明媛、杨进堂，全国精测会议报告（西安）1981.
- [30] 蒋潮江，“高精光学编码盘，制造方法”发明申请书，1981，9.
- [31] 朱应时、周世红等，六十进制检验仪鉴定会报告，1981.
- [32] 杨进堂、赵秀文等，六十进制检验仪鉴定会报告，1981.
- [33] 邹自强、史淑华等，高精度大光栅盘鉴定会报告，1981.
- [34] 十六室检测组，光电定角比相法鉴定会报告，1981.