

用单球法测量大直径锯齿形螺纹中径的原理及装置*

吴宇列 徐荣葆 张耀辉 王秀梅

(国防科技大学系 长沙 410073)

摘要 本文论述了用单球法测量大直径锯齿形螺纹中径的原理与方法, 具体介绍了为实现这种方法而设计的检测装置。对这个装置进行了精度标定和测试, 实验表明, 该测量仪器使用方便, 精度较高, 具有较强的实用性。

关键词 螺纹中径, 锯齿形, 单球测量

分类号 TH112.6, TH113.21

The Principle and Device of Measuring the Pitch Diameter of a large Diameter Sawtooth Thread with Single Ball

Wu Yulie Xu Rongbao Zhang Yaohui Wang Xiumei

(Department of Mechatronic Engineering and Instrument, NUDT, Changsha, 410073)

Abstract This paper describes the principle and method of measuring the pitch diameter of a large diameter sawtooth thread with a single ball, and introduces in detail the measuring device to realize the method. Tests and calibration are also given, which show that this device is easy to operate, and has high accuracy and good practicability.

Key words pitch, sawtooth, single-ball-measurement

1 技术背景

大直径螺纹中径的测量, 特别是在线测量, 一直是工厂生产中不太容易解决的问题。本文所论述的大直径锯齿形螺纹中径在线测量装置, 为解决这一问题提供了一条可行的途径。

该测量仪是受江南某机器厂委托而研制的, 专门用于该厂生产的两种大直径锯齿形内外螺纹的在线检测。该厂提出的技术指标如下:

1. 在加工过程中停机测量, 不卸下工件, 不能配备专用测量台架。
2. 测量装置要求精度达到 0.01mm, 量程大于 1mm, 数字显示测量结果。
3. 无特殊环境要求, 使用方便。

根据以上要求, 我们设计了基于单球测量法的大直径锯齿形螺纹中径在线检测装置。

2 单球法测量锯齿形螺纹中径的原理

对于锯齿形螺纹中径的测量方法, 常用的有三针测量法、光学测量法、机械量具测量法及万能工具显微镜测量法等。但以上这些方法均不能完全满足工厂提出的技术要求。因此, 我们提出了一种改进的单球测量法, 这种单球测量法是以三针测量法为基础的。用三针法测量中径精度较高, 但操作比较复杂, 不适合于现场使用。我们通过对三针法的原理进行分析发现利用三针法测量的基本公式, 经过简单的处理就可转化为单球单侧测量法。测量原理图如图 1 所示:

根据三针法测量的中径计算公式, 就可马上得出单球法的测量公式如下:

* 1998年6月修订

第一作者: 吴宇列, 男, 1972年生, 硕士

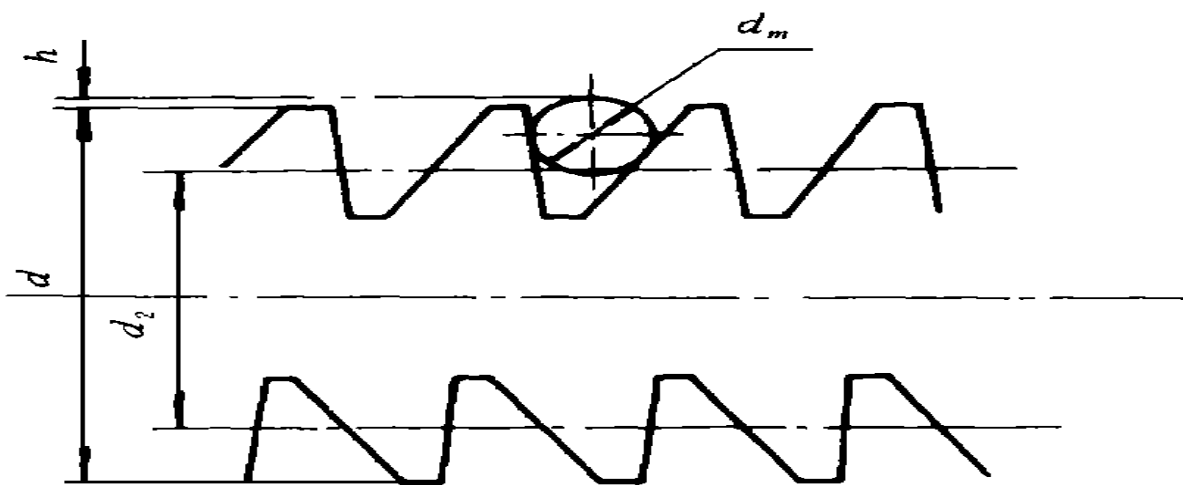


图 1

$$d_2 = d \pm 2h \left[1 + \frac{\cos \frac{1}{2}(\alpha_2 - \alpha_1)}{\sin \frac{1}{2}(\alpha_2 + \alpha_1)} \right] \pm \frac{P \cos \alpha_1 \cos \alpha_2}{\sin(\alpha_1 + \alpha_2)} \quad (1)$$

其中： d ——螺纹顶径； d_m ——测球直径； p ——螺距； α_1, α_2 ——锯齿形螺纹牙形角。

对于一般的锯齿形螺纹 $\alpha_1 = 3^\circ; \alpha_2 = 30^\circ$ 则 (1) 式可以简化为：

$$d_2 = d \pm 2h \left[4.4237d_m \pm 1.5879P \right] \quad (2)$$

以上各式都是假设 α_1, α_2, P 没有误差而得到的，实际上这三个参数并不完全等于标准值，其误差会影响根据 (2) 式计算出的中径值。为了消除这些参数误差的影响，就要对它们所带来的系统误差进行补偿。为此，先测出 α_1, α_2, P 的实际误差值，然后带入如下的误差补偿公式：

$$\Delta d_{2(\alpha_1)} = 1.5615(d_m - 0.4710P) \Delta \alpha_1 \quad (3)$$

$$\Delta d_{2(\alpha_2)} = 1.8006(d_m - 0.5431P) \Delta \alpha_2 \quad (4)$$

$$\Delta d_{2(P)} = 1.588 \Delta P \quad (5)$$

对于测量中的其他非几何参数误差，由于其影响程度较小可忽略不计，最后总的中径计算值为：

$$d_{2T} = d_2 + \Delta d_{2(\alpha_1)} + \Delta d_{2(\alpha_2)} + \Delta d_{2(P)} \quad (6)$$

实测中只要测出 d 和 h 就可计算出中径值，而 d 是加工前已有的尺寸，可预先输入，真正要测的就只有 h 。

3 测量系统与装置

整个测量系统的框图如下：

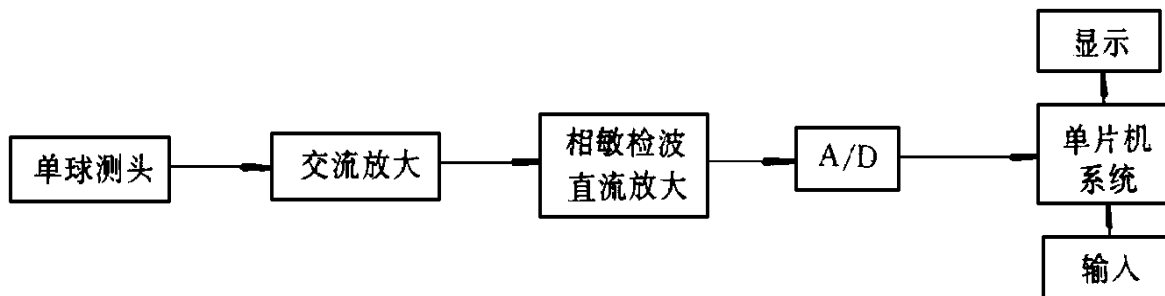


图 2 测量系统框图

系统分为两大部分：

(1) 测头部分。

工厂提出的研制任务是基于目前生产中存在的主要问题：产品螺纹尺寸与重量均较大，若制造专门的量规也必然在重量和尺寸上使操作工人难以使用，而且常用量具的精度也难以达到要求。另外测量不仅在加工后，而且在加工中间要随时进行，并要知道具体已达到的中径数值，以便调整进刀控制加工精度。基于以上目的，我们设计的单球测头原理图如下：

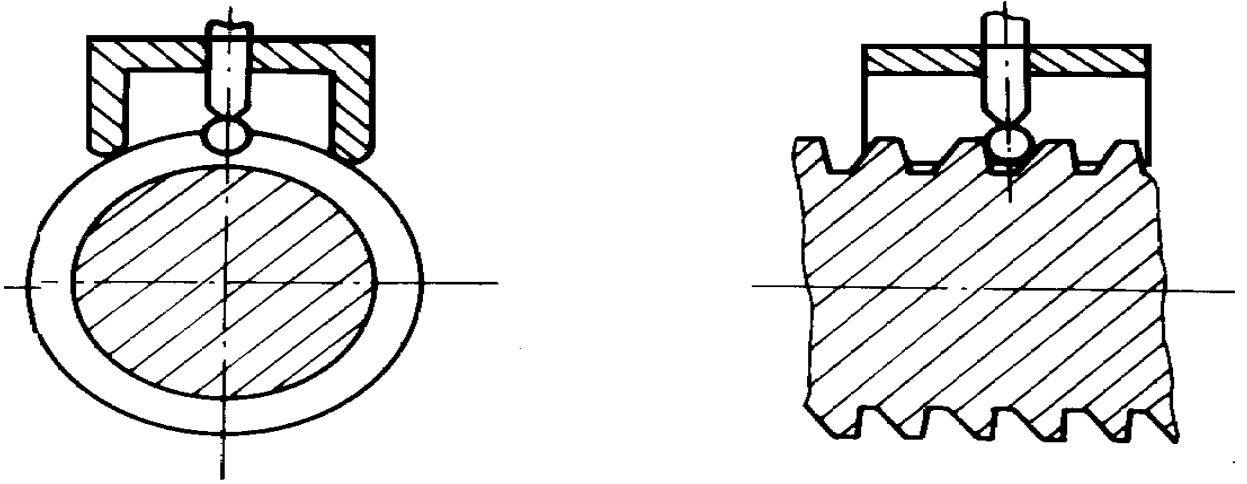


图3

把一顶端带一个测球的电感测头插入到一个“π”形块中，“π”形块定位于圆柱面上，测球置于螺纹槽中，带动电感测头上下移动就可测出 h 值，实际设计的测头装配图如下：

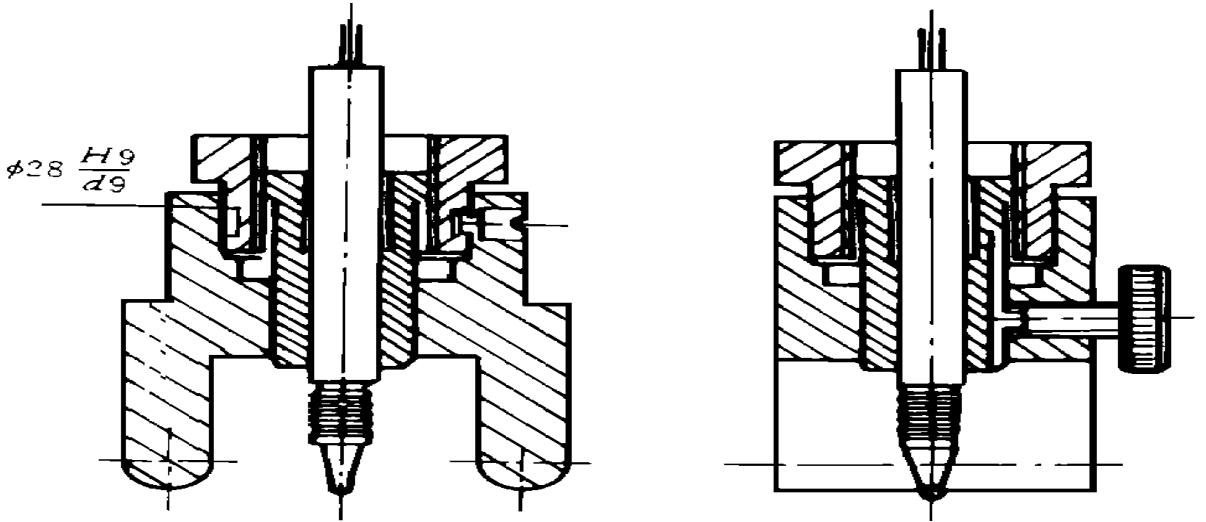


图4

测头由三部分组成：1 定位部分，2 测量部分，3 调整部分。定位部分由测头底座来实现，测量部分由球头电感测头来完成，调整部分由螺旋副来完成。其中定位部分对测量结果影响较大，在测量时要保证电感测头的轴线通过螺纹的轴线。这种要求一般通过 V 形块定位来实现。由于考虑到本测头内外螺纹的兼容性，故采用改进的 V 形块，即带有圆柱面的“π”形底座作为定位元件。

另外，由于电感测头的测量范围有限，为了满足整个中径公差带中都有较好的线性及精度，我们采用平均中径比较测量法。测量时，以螺纹中径公差范围内的平均中径为测量仪的零点，测出其相对值，然后代入公式计算出实际中径值。为此，先要做一个中间开槽的弧形标定块，使“π”测头放在标定块上后，电感读数值为零，此时所测的是平均中径对应的 h_0 ，实际测量时电感的显示值 h_c 与 h_0 的合成即为式 (2) 中的 h ，代入式中就可求出中径值。所用的标定块如下图所示：

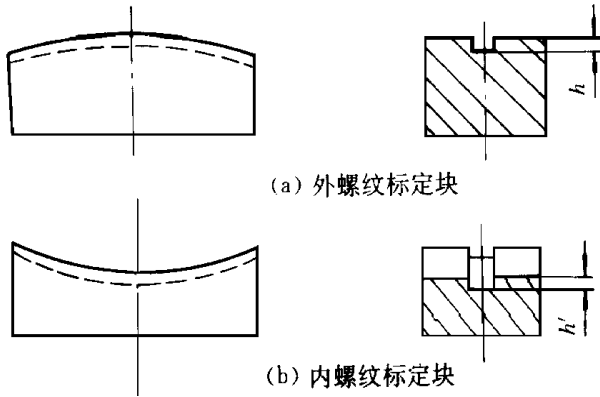


图 5

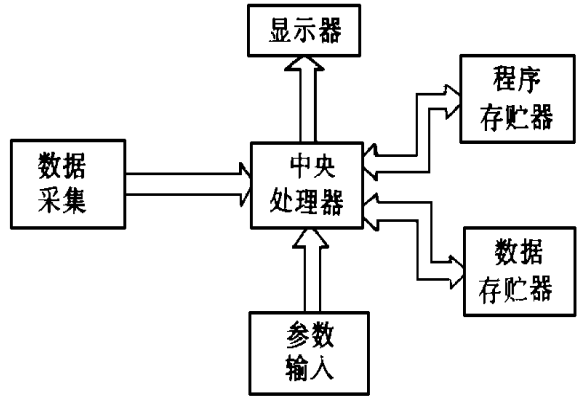


图 6

其中 (a) 为外螺纹标定块, (b) 为内螺纹标定块。它们的圆弧直径与被测螺纹顶径相同, 圆弧面上所开槽的深度 h_0 是根据平均中径计算出来的。测量时, 测球放入槽中, 测头直径为 d_m , 则标定值 $h_0 = d_m - h_0$ 。

(2) 测量系统电路部分

根据测量装置的功能要求, 硬件由模拟部分、A/D 转换部分和单片机系统部分组成。

a. 模拟部分

模拟部分主要的功能是把电感测头的输出交流信号变成正负直流电压信号, 并且有一定幅值以供 A/D 转换之用。

b. A/D 转换部分

由于本装置为一种测量仪, 对 A/D 转换的速度并无要求, 但对精度要求较高, 且量程要求较大, 故采用双积分式的 A/D 转换电路。这种芯片的主要特点是抗干扰能力强, 在选择合适的时钟频率后就可滤除工厂中干扰最大的工频信号。所以我们选用 MC14433 这种按位输出 BCD 码的双积分 A/D 转换芯片, 其性能完全能满足测量系统的要求。

c. 单片机系统部分

单片机系统是整个测量系统的核心部分, 其系统框图如图 6。

单片机系统要实现的主要功能是: 对 MC14433 的转换结果进行读取; 实现外部数据的输入; 进行测量值的实时显示。为了达到以上功能, 我们选用了功能较强, 开发容易的 MCS-51 单片机。

此外, 为保证整个系统正确可靠的运行, 还必须有软件支持。本测量系统的软件采用模块式结构, 由两个主模块: 测量模块和模块, 一个辅助模块: 标定模块构成。

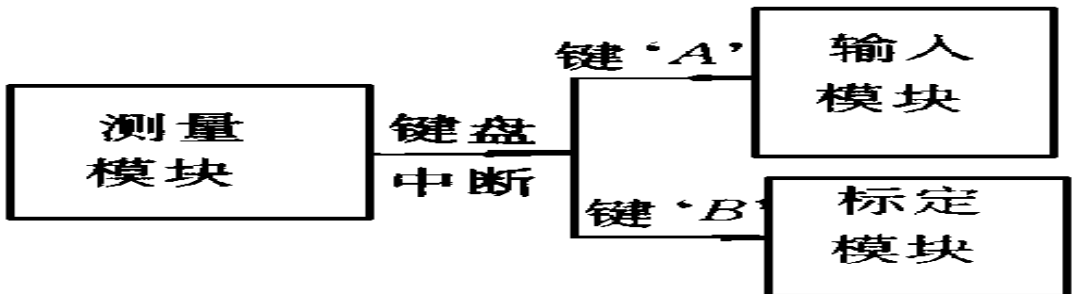


图 7

4 标定与检测

在测量前必须对仪器进行标定, 本测量仪的标定主要是指对电感测头的标定, 即调节电感测量电

路的放大倍数,以满足 $1\mu\text{m}$ 的位移对应于 A/D 转换后的一个数字量,这样就便于计算及显示。标定用的仪器为中原量仪厂生产的微动测量台架,其测量分辨率为 $0.2\mu\text{m}$,经过调整后所得 $\pm 1\text{mm}$ 范围内的标定值如下表:

表 1

标定台架 读数值 (mm)	测量仪 显示值 (μm)	前后显示 值之差 (μm)	与标定值 之差 (μm)	累积误差 (μm)	标定台架 读数值 (mm)	测量仪 显示值 (μm)	前后显示 值之差 (μm)	与标定值 之差 (μm)	累积误差 (μm)
0. 4000	- 1008				0. 1000	+ 109	101	+ 1	+ 1
0. 3000	- 908	100	0	0	0. 000 0. 4000	+ 209	100	0	+ 1
0. 2000	- 808	100	0	0	0. 3000	+ 308	99	- 1	0
0. 1000	- 708	100	0	0	0. 2000	+ 408	100	0	0
0. 0000 0. 4000	- 607	101	+ 1	+ 1	0. 1000	+ 507	99	- 1	- 1
0. 3000	- 507	100	0	+ 1	0. 0000 0. 4000	+ 607	100	0	- 1
0. 2000	- 408	99	- 1	0	0. 3000	+ 708	101	+ 1	0
0. 1000	- 307	101	+ 1	+ 1	0. 2000	+ 807	99	- 1	- 1
0. 0000 0. 4000	- 207	100	0	+ 1	0. 1000	+ 907	100	0	- 1
0. 3000	- 107	100	0	+ 1	0. 0000	+ 1007	100	0	- 1
0. 2000	- 008	99	+ 1	+ 1					

从表中数据可知,电感测头的误差在 $\pm 5\mu\text{m}$ 以内,符合设计要求。

标定后,仪器便可投入实测。本测量仪在研制完成后即送到机器厂进行实测。多次现场测试证明,该仪器重复误差小,准确度高。对同一个螺线中径测量结果与该厂计量室测量结果之差仅小于 0.02mm 。

5 结论

(1) 基于三针测量中径原理推导出的单球单侧测量锯齿形螺线中径的方法是正确可行的,具有明显的创新性和先进性。

(2) 本测量装置具有精度高、体积小、重量轻、显示直观、调整方便、工作可靠等优点,对于测量大直径螺线中径有独特的优势。

(3) 测量系统软硬件均采用模块式结构,增加了测量装置进一步扩充功能的裕度和柔性。

(4) 测量装置软件功能强,操作方便直观,调整维护方便,工作可靠,适合于生产现场使用,有较大的推广价值。

参考文献

- 徐孝恩. 螺线检验与测量. 北京: 中国计量出版社, 1984
- 强锡富. 几何量电测量仪. 北京: 机械工业出版社, 1981
- 高登芳. 微型计算机实用测控接口技术. 北京科学技术出版社, 1990
- 张迎新. 单片微型计算机原理、应用及接口技术. 北京: 国防工业出版社, 1993
- 曾新民. 运算放大器手册. 北京: 电子工业出版社, 1990