

不同分度游标卡尺的误差极限分析

毕彦平, 申杰奋, 朱永涛, 刘太刚, 韩琳, 张艳菊

新乡医学院, 河南 新乡

Email: bypcxj@126.com

收稿日期: 2021年4月12日; 录用日期: 2021年5月12日; 发布日期: 2021年5月19日

摘要

长度是一个基本物理量, 许多其它的物理量也常常转化为长度或借助长度进行测量。游标卡尺是一种比较精密的测量长度的仪器, 是高中和大学物理实验以及工程、日常生活中常用的基本测量工具。根据游标分度数的不同, 常用的游标卡尺有50分度、20分度和10分度等规格。大家在使用不同分度的游标卡尺的过程中对于单次测量的误差极限一直存在困扰。测量所使用的仪器不可能尽善尽美, 测量依据的理论公式所要求的条件也是无法绝对地保证的, 再加上测量技术、环境条件等各种因素的局限, 真值一般无法得到。误差存在于一切测量之中, 而且贯穿于整个测量过程, 所以必须正确认识误差。本文详细分析了50分度、20分度和10分度的游标卡尺的估读误差极限, 最后结论: 估读误差最大是半个分度值。

关键词

长度测量, 游标卡尺, 误差

The Limit of Error Analysis of Different Degrees of Vernier Caliper

Yanping Bi, Jiefen Shen, Yongtao Zhu, Taigang Liu, Lin Han, Yanju Zhang

Xinxiang Medical University, Xinxiang Henan

Email: bypcxj@126.com

Received: Apr. 12th, 2021; accepted: May 12th, 2021; published: May 19th, 2021

Abstract

Length is a basic physical quantity. Many other physical quantities are also often converted to or measured by means of length. The vernier caliper is a more precise instrument of measuring the

length. It is a common and basic measurement tool in everyday life, engineering and high school and college physics experiments. The common vernier calipers are 50 points, 20 points and 10 points according to the cursor points. In the process of using vernier calipers with different degrees, there is always confusion about the error limit of a single measurement. The measuring instruments are not perfect, theoretical formula of measurement required conditions is not able to meet the requirements, and measurement technology, environmental conditions and other factors are limited, so the true value is generally not got. The error exists in all measurements and it is throughout the measurement process. This paper provides a detailed analysis of error estimation limit of 50 points, 20 points and 10 points vernier caliper. The final conclusion is that the maximum error of estimation is half a degree value.

Keywords

Length Measurement, Vernier Caliper, Error

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

基本物理量，是指物理中所描述的现象或物质可定性区别及定量确定的属性。是用数字加单位联合表达的。一般先选几个独立的量，如长度、时间、质量等，并规定出它们的单位。

长度是其中一个基本物理量，许多其它的物理量也化为长度进行测量。

游标卡尺(Vernier Caliper)是一种较精密的测量长度、深度和内外径的仪器，是高中和大学物理实验常用的基本测量工具。同时也是设计制造、科学研究、工程测量和技术改造中常用的工具。根据卡尺上游标分度数的不同，常见的游标卡尺分为：50分度、20分度和10分度[1]，它们的精度分别为：0.02 mm、0.05 mm和0.1 mm。

测量时，大部分物理量需要估读，计算时也要考虑估读数字。很多情况下，大家对估读常常存在困惑。为了让大家深刻理解基本仪器基本原理，并进一步拓展实际应用。下面对不同分度的游标卡尺的估读误差的极限做出详尽的分析。

2. 游标卡尺的构造

在许多的测量长度的仪器中，游标卡尺作为一种应用广泛的精度较高的测量工具，是直尺的延伸。中国古代科学技术已经非常发达，最早的外形酷似卡尺的测量工具，是发现于东汉的“新莽铜卡尺”，不过精度和适用范围都较低。

最接近现代使用的游标卡尺大家普遍认为是法国人发尼尔·比尔发明的。美国的夏普公司创始人于1985年成功制造出世界上第一批0~4英寸的游标卡尺，其精度达到了0.1毫米。后来经兵工厂改进，游标卡尺目前是工程上应用范围最广的测量工具。

游标卡尺外部结构如图1所示，主体部分由主尺(即尺身)D和附着于主尺上的副尺(即游标)E组成的。主要测量部位是量爪(即测脚)A、A'，固定于主尺上，B、B'与游标固定在一起。尾尺(即深度尺)C与游标固定在一起，游标可沿主尺来回滑动。螺丝F用来固定副尺。外量爪A、B为一组，用来测量物体的外部尺寸；内量爪A'、B'为一组，用来测量物体的内部尺寸；尾尺C用来测量深度。

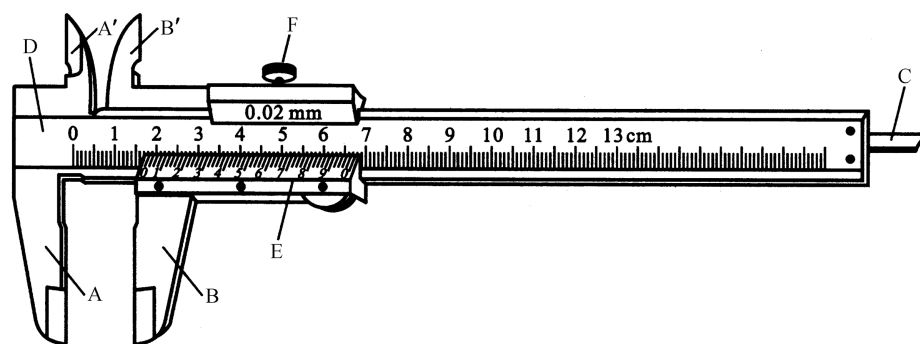


Figure 1. 50 min vernier caliper structure drawing

图 1. 50 分度游标卡尺结构图

常用米尺最小刻度通常是毫米，即米尺的分度值为 1 mm。假如用它测量某一物体的长度，能准确读到毫米，毫米后面的一位数字需要估读出来。比如某物体长度为 15.2 mm，数字中的 15 是准确数字，0.2 是估读出来的。也就是说长度也可能是 15.3 mm，也可能是 15.1 mm。但绝不可能是 16.2 mm 或 14.2 mm。这一位估读出来的数字被称为可疑数字(估计值)，带有一位估计值的近似数值被称为有效数字。

相同的测量对象在测量条件不变的情况下，测量仪器的精度越高，测量值的有效数字位数越多。为了能够读出来毫米的十分之一，在米尺的旁边增加一个能够左右滑动的有刻度的尺子，这个可以左右滑动的尺被称为副尺(即游标)，原来的米尺就叫主尺[2]。

3. 游标卡尺的使用方法

使用前，必须将被测物体和游标卡尺的测量爪擦干净。测量外径时，如图 2 所示将外量爪 B 向外移动，使外量爪 A、B 之间的距离略大于被测尺寸，然后慢慢移动外量爪 B，使外量爪 A、B 与待测物体接触，切忌硬拉，以免影响读数的准确性和卡尺的精度。

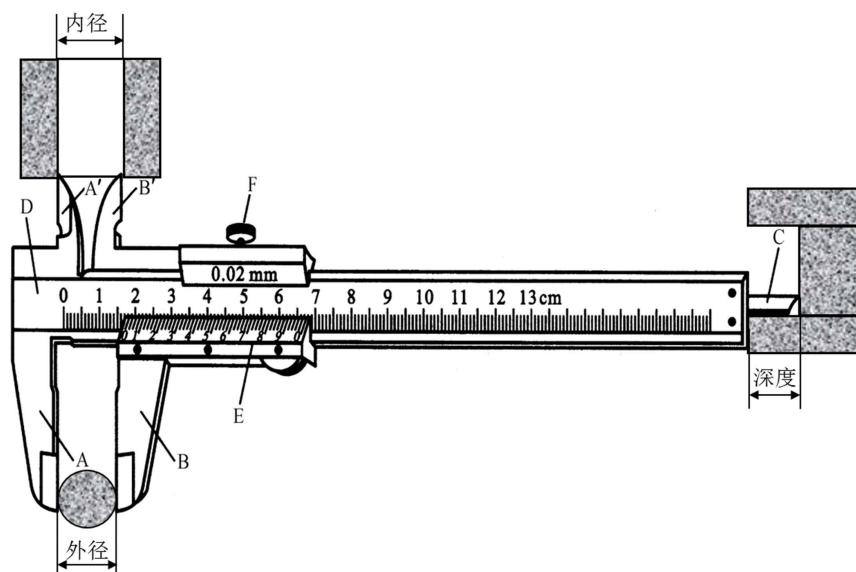


Figure 2. Measuring external diameter, internal diameter and depth with vernier caliper

图 2. 50 游标卡尺测外径、内径和深度

测量物体内径时，如图 2 所示将内量爪 B' 向内移动，使内量爪 A'、B' 间距小于工件内径，然后再将

内量爪 B'缓慢向外移动, 使内量爪与工件接触。

测量物体深度时, 如图 2 所示将主尺与被测物体表面平整接触, 然后缓慢移动副尺, 使副尺与物体接触, 移动时用力不要过大, 以免影响测量精度。

使用后, 将游标卡尺擦拭干净, 然后在卡尺表面涂一层薄薄的凡士林, 放入盒内存放。

4. 游标原理

下面简单介绍常见游标卡尺的原理:

游标上 a 个最小分度的长度, 与主尺上 $(a-1)$ 个最小分度的长度相等。

假设主尺上最小分度为 z (比如 1 mm), 那么游标上最小分度为 w (w 一定小于 1 mm), 则有:

$$\begin{aligned}(a-1)z &= aw \\ aw &= az - z \\ a(z-w) &= z\end{aligned}$$

可以设定:

$$\Delta d = z - w$$

因主尺上最小分度是 z , 游标上最小分度为 w 。 Δd 是主尺上最小分度与副尺上最小分度相差的数值。则有:

$$\Delta d = z - w = \frac{z}{a}$$

Δd 被称为游标卡尺的精度。

下面以 50 分度的游标卡尺为例分析: 副尺上有 50 个格(即 $a = 50$), 50 个格的总长与主尺上 $(a-1)$ 格(即 49 格)的总长度相等, 如图 3 所示。因此有:

$$\begin{aligned}50w &= 49 \text{ mm} \\ w &= \frac{49}{50} \text{ mm} \\ \Delta d &= 1 - w = 0.02 \text{ mm}\end{aligned}$$

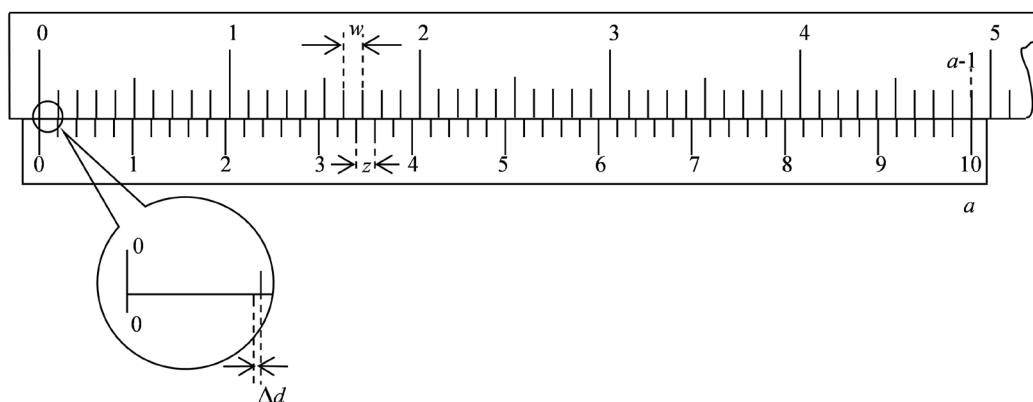


Figure 3. Principle of vernier caliper

图 3. 游标的原理

因此, 可以知道 50 分度的游标卡尺的精度是 0.02 mm [3]。

同理, 20 分度、10 分度的游标卡尺的精度分别为: 0.05 mm、0.1 mm。

5. 估读误差

估读是被测量介于测量工具最小分度值之间某位置而进行数据处理的一种方法。大家常常将“测量中的有效数据保留到仪器精度的下一位”作为公理使用。然而在实际使用仪器的过程中,发现此“公理”并非适用所有仪器。由于这个原因,使得大家在估读数的时候,常感到茫然:某些情况究竟要估读几位。

大家在使用游标卡尺的过程中,可能会发现副尺上的哪一条线都不能与主尺上的某一条线完全对齐。常常找一对最接近的线,认为它们是对齐的[4]。

5.1. 五十分度游标卡尺的估读误差

对于五十分度游标卡尺, $a = 50$, 即将主尺上的 49 mm 等分为游标上的 50 格。这样它的精度为:

$$\frac{1}{50} = 0.02 \text{ mm}$$

通过五十分度游标卡尺读数单位是 mm, 读数到小数点后两位, 且末位是偶数。

例如某个物体真值介于 13.25 mm 和 13.27 mm 之间, 通过卡尺读数应该为:

$$13.26 \text{ mm}$$

读数的估误差会小于或者等于 13.25 mm、13.26 mm、13.27 mm 每相邻两个数之间的差值的。误差最大存在于真值为 13.25 mm、13.27 mm 的时候, 其估读误差为 0.01 mm (此处请大家注意真值, 不要与读数相混)。此外当真值为 13.25 mm、13.27 mm 的时候, 读数也可以分别是: 13.24 mm 和 13.26、13.26 mm 和 13.28 mm。

估读误差仍然是 0.01 mm (0.01 mm 为 0.02 mm 的一半)。

5.2. 二十分度游标卡尺的估读误差

对于二十分度游标卡尺, $a = 20$, 即将主尺上的 19 mm 等分为游标上的 20 格, 这样它的精度为:

$$\frac{1}{20} = 0.05 \text{ mm}$$

通过二十分度游标卡尺读数单位是 mm, 读数到小数点后两位, 且末位是 0 或者 5。

例如: 某个物体真值介于 13.28 mm 和 13.32 mm 之间, 从 13.27 mm 到 13.32 mm 之间的连续数字依次是:

$$13.28 \text{ mm}、13.29 \text{ mm}、13.30 \text{ mm}、13.31 \text{ mm}、13.32 \text{ mm}$$

读数应该是:

$$13.30 \text{ mm}$$

估读的误差会小于或者等于 13.30 mm 和 13.28 mm、13.30 mm 和 13.32 mm 的差值。误差最大存在于真值为 13.28 mm、13.32 mm 的时候, 估读的误差为 0.02 mm (单纯从数字的角度来说, 0.02 小于 0.05 的一半)。

5.3. 十分度游标卡尺的估读误差

对于十分度游标卡尺, $a = 10$, 即将主尺上的 9 mm 等分为游标上的 10 格。这样它的精度为:

$$\frac{1}{10} = 0.1 \text{ mm}$$

通过十分度游标卡尺读数单位是 mm, 读数到小数点后一位。

例如某个物体真值介于 13.25 mm 和 13.35 mm 之间, 从 13.25 mm 和 13.35 mm 之间的连续数字依次是:

13.25 mm、13.26 mm、13.27 mm、13.28 mm、13.29 mm、13.30 mm、13.31 mm、13.32 mm、13.33 mm、13.34 mm、13.35 mm

读数应该是:

13.3 mm

读数的误差会小于或者等于 13.25 mm 和 13.30 mm、13.30 mm 和 13.35 mm 的差值。误差最大存在于真值为 13.25 mm、13.35 mm 的时候, 估读误差为 0.05 mm。

此外当真值为 13.25 mm、13.35 mm 的时候, 读数也可以分别是:

13.2 mm、13.4 mm

估读误差是 0.05 mm (0.05 mm 为 0.1 mm 的一半)。

从以上的分析可以得出: 各种分度的游标卡尺最多有半个分度值的估读误差。即估读误差的极限为半个分度值。

6. 结论

真值是一个变量本身所具有的真实值, 是一个理想的概念, 一般无法得到。因为测量过程中使用的仪器不是完美的, 测量原理所依据的理论也可能存在缺陷, 再加上测量技术、环境条件等各种影响因素, 只要进行测量, 必然伴随一个不一定为零的误差, 一般只能得到一个无限逼近真值的数值。误差存在于一切测量之中, 而且贯穿于整个测量过程, 所以必须正确认识误差。估读误差是误差的一种, 上面详细分析了 50 分度、20 分度和 10 分度的游标卡尺的估读误差大小, 最后得出结论: 估读误差最大是分度值的一半, 估读误差的极限是半个分度值。

致 谢

首先感谢教学课程组负责人刘东华老师, 刘老师严谨的治学态度, 精益求精的工作作风对我影响很大, 本文是在刘老师帮组下完成的。在此, 谨向刘老师表示衷心的感谢!

其次非常感谢课程组的其他同事, 感谢课程组的其他成员给我的宝贵建议。

最后感谢医工学院, 学院良好的学习环境和浓厚的科研氛围深深的影响了我, 让我从中体会到知识的力量。

基金项目

河南省科技攻关项目(152102210339); 新乡医学院教学改革研究项目(2019-XYJG-29)。

参考文献

- [1] 关越. 单向爪游标卡尺示值误差测量结果不确定度分析与评定[J]. 计量测试, 2021(2): 85-87.
- [2] 王梦斐, 余厚云. 游标卡尺示值误差自动检定方法研究[J]. 电气与自动化, 2020, 49(6): 203-205.
- [3] 刘东华, 李振新. 医用物理学实验[M]. 北京: 机械工业出版社, 2018: 14-15.
- [4] 李正, 李文娟, 孙跃斌. 游标卡尺测量值的不确定度评定[J]. 计量测试与技术, 2014, 41(11): 64-67.