

一、量 块

(一) 基 本 要 求

1. 掌握计量学基础知识。
2. 熟悉量块量值传递系统（由氪-86基准谱线到一等及以下各等量块）。
3. 理解《尺寸至1000mm 2、3、4、5、6等量块检定规程》；熟练掌握检定方法；正确处理检定数据。
4. 掌握一般的几何光学和物理光学、机械、机械制图知识；了解立、卧式光学计、投影光学计、立式接触干涉仪和测长机等仪器的结构原理；能熟练进行检定操作和使用中的调整。
5. 具备公差配合与技术测量的一般知识。
6. 了解量块制造、修理和使用的基本知识。
7. 能分析计算作为测量条件之一的温度对量块检定工作的影响，并熟悉量块量值传递中各种误差的来源。
8. 具备正确维护、保养仪器与量块的知识。
9. 了解长度基准发展的趋势。

(二) 例 题 与 解 答

例题 1 长度的基本单位是什么？它是怎样定义的？有什么优越性？作为物体一个物理量的各种尺寸的单位与基本单位有什么关系？

解答：我国的长度计量单位采用国际单位制（其国际符号是SI），基本单位的中文名称为米，国际符号为m。“一米等于氪-86原子的 $2p_{1/2}$ 和 $5d_{5/2}$ 能级之间跃迁所对应的辐射，在真空中的1650763.73个波长的长度”。这个基本单位“米”是自然基准，它不同于以前的实物基准，归纳起来，基本上有下列优越性：

(1) 量值稳定：由于原子辐射的单色波长是物质自身的属性，能保证长度量值高度的稳定，而过去的实物基准铂铱合金尺的稳定度难于保持在 $\pm 1 \times 10^{-7}$ 量级。

(2) 具有较大的量限：由氪-86辐射的 6057 \AA 谱线，其半宽度，在现有的同位素光源中辐射的可见光谱为最好，其相干能力达到700—800毫米，亮度与镭红线接近。

(3) 复现精度很高：“米”的复现精度理论上可达到 $(1-3) \times 10^{-9}$ 。

(4) 永不销毁，易于复现：由于在自然界中，氪-86原子永远不会消失，只要符合所规定的条件，就可随时复现“米”这一基准的量值。

各种尺寸的单位都可以是由国际制词头加在国际制基本单位“m”之前构成的国际制单位的十进倍数单位或分数单位。例如一直径为0.012米的圆柱体，我们可以把它的尺寸写成“直径12 mm”，在这里单位符号“mm”，左边的“m”表示数为 10^{-3} 的国际制词头的符号，

相当于中文代号“毫”，右边的“m”表示国际制基本单位的国际符号，所以“mm”的中文名称是“毫米”。例如， $0.012\text{m} = 12 \times 10^{-3}\text{m} = 12\text{mm}$ （毫米）。

又如，某一基本尺寸工件的公差为 0.000003m ，此公差可写成 $3\mu\text{m} = 3 \times 10^{-6}\text{m}$ ，符号“ μm ”左边的“ μ ”是因素为 10^{-6} 的国际制词头的国际符号，右边的“m”是国际制基本单位。因“ μ ”的中文符号为“微”，所以“ μm ”的中文名称是“微米”。从上述的关系可以看出，自然界物体的任何一个尺寸，它所使用的单位都直接的来自国际制基本单位，并且根据需要选用词头获得最便于应用的单位。正是有了这种关系，使我国长度量值传递工作，既切合实际需要，又从计量制度上保证了国内和国际的统一。目前，我国统一的公制长度单位名称如下表：

表 2.1.1

单 位 名 称	符 号	对 主 单 位 的 比
公里 (千米)	km	10^3m (1000m)
米	m	主单位
厘米	cm	10^{-2}m (0.01m)
毫米	mm	10^{-3}m (0.001m)
微米	μm	10^{-6}m (0.000001m)
毫微米	nm	10^{-9}m (0.000000001m)
埃 (埃米)	Å	10^{-10}m (0.0000000001m)
微微米	pm	10^{-12}m (0.000000000001m)

例题 2 试用图解详述量块量值传递系统。

解答：量块量值传递系统如图 (2.1.1) 所示。

例题 3 试述量块的定义、技术要求和用途。

解答：量块是一种用两端平行平面之间的距离来表示长度量值的长方形正六面体单值量具。

量块的技术要求主要包括：

(1) 形状标准化。其目的是：

- ① 在形状尺寸方面便于配置在多种多样的使用场合；
- ② 在测量系统中变形很小；
- ③ 便于按所需尺寸组合量块。

量块的标准化形状规定为长方形正六面体，其中有两个平面是经过研磨达到规定要求的测量面，每一量块都标有一个名义尺寸，以此为标记，按有关规定，能辨认出量块的任何一面。国外量块还有做成圆柱体的。

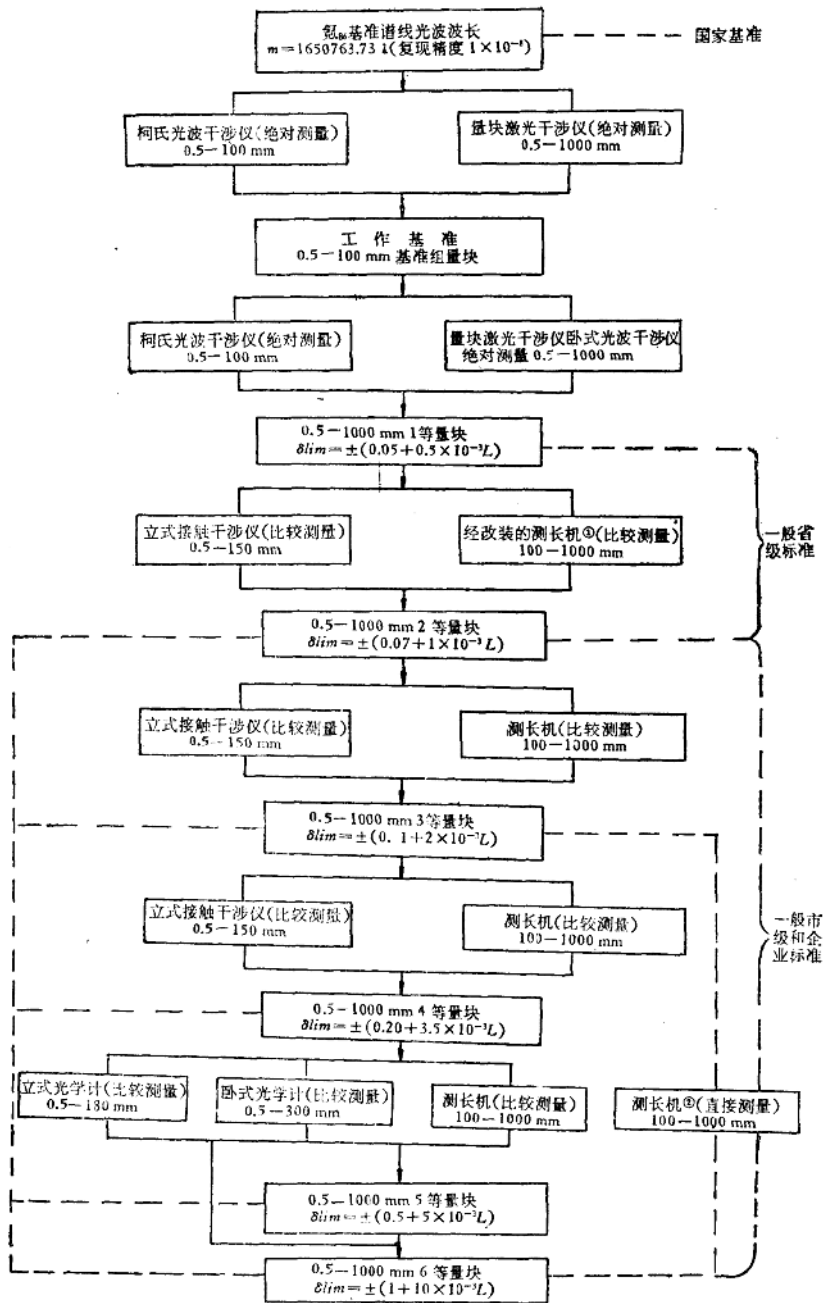


图 2.1.1 量块量值传递系统图

注: ①将测长机的光学计替换为立式接触干涉仪光管时, 可用做 2 等量块的比较检定

②用不低于 3 等标准量块检定过并给出整正量的测长机, 可直接检定 5、6 等量块, 所有仪器只要测量的极限误差不大于规定, 均可用于适当等级的量块检定

m ——国际单位制的基本单位米的符号; λ ——氪-86 辐射的 6.57 Å 谱线的光波波长符号; L ——量块的名义尺寸, 单位为毫米; δ_{lim} ——量块检定的极限误差, 单位为微米

(2) 材料、工艺符合要求。

从这一点出发，保证量块达到下列一些技术要求：

① 制造、检定精度高。从量值传递系统看，应远高于工件的加工精度。

② 量值稳定性好。量块在一定期内，量值的变化应在一定的范围以内，否则量值传递工作就无法正常进行，如一米长的量块，按不同的精度等级分别规定其量值的年变化量为：零级不超过 ± 0.5 微米；1级不超过 ± 1 微米；2级不超过 ± 2 微米。

③ 刚性强，尽量减小刚性这一因素对量块变形的影响。

④ 表面质量好：

A、光洁度高，量块测量面的光洁度，对于零级应不低于 $\nabla 14a$ ，其余各级量块应不低于 $\nabla 13b$ 级，非测量面的光洁度为 $\nabla 8$ -- $\nabla 9$ 级。

B、研合性好，此项要求的目的是：

a、根据量块中心长度的定义，量块必须具有研合性能，才能准确地确定其中心长度尺寸；

b、量块是单值量具，通过研合，就可以组成各种不同的尺寸，成为多值量具，保证了量块量值传递工作中尺寸数列的连续性，扩大了使用范围。

c、由于量块是高精度的量具，不容许有测量面上的其它疵病引入测量结果，而通过量块研合性的检定，便可综合反映出其表面的质量。

C、硬度符合要求，量块测量面硬度应在HRC62—65范围内，以保证测量的准确度。

D、表面耐磨。在使用量块进行测量时，常常是采用接触测量，有时还要把几块研合起来，容易磨损，引起计量的尺寸不准，为此，对其测量面提出了耐磨的要求。影响耐磨性的因素有表面光洁度、硬度、材料结构等。

⑤ 线膨胀系数与钢相近。钢制量块的线膨胀系数，在 $10-30^{\circ}\text{C}$ 范围内，在每米每度上应为 $10.5-12.5$ 微米。

量块的用途：主要用于标准传递，精密零件的测量与划线工作，检定测量仪器和量具的精度等。

例题4 解释下列名词术语：

量块的中心长度、任意点长度，平面平行性，研合性，极限尺寸，中心长度极限偏差，中心长度实际偏差，中心长度测量的极限误差，实际尺寸，名义尺寸，平面平行性偏差。

解答：量块的中心长度、任意点长度——量块一个测量面的中点，至与此量块另一测量面相研合辅助体表面之间的垂直距离，定义为量块的中心长度。量块一个测量面上的任意点，至与此量块另一测量面相研合的辅助体表面之间的垂直距离，定义为任意点长度。此时，量块应不受任何机械外力的作用而使其长度发生变化，辅助体表面的品质 and 材料，应与量块一致。

平面平行性——是指量块工作面上任意点的垂直距离与中心长度之差的最大绝对值，但距离测量面棱边 0.5 毫米部分不计。

研合性——是指两量块测量面相互之间或量块与平晶测量面之间相互能够研合的能力。

极限尺寸——允许尺寸变化的两个界限值，它以基本尺寸为基数来确定。

两个界限值中较大的一个称为最大极限尺寸；较小的一个称为最小极限尺寸。

中心长度极限偏差——量块中心长度极限尺寸减其名义尺寸所得的差。

中心长度实际偏差——量块中心长度的实际尺寸减其名义尺寸所得的差。

中心长度测量的极限误差——测量量块中心长度时，所选用的仪器、温度、标准件等总误差的允许范围。此时测得尺寸的误差，有99.7%的几率不会超出这个范围。

实际尺寸——通过测量所得到的尺寸。由于存在测量误差，所以实际尺寸并非尺寸的真值。

名义尺寸——在量块上注明并由量块复现的测量单位的数值。

平面平行性偏差（平面平行性极限偏差）——量块任意点（不包括距测量面边缘0.5毫米的部位）的长度与中心长度差数的最大绝对值（在测量时，可以距量块测量面长边和短边各为1毫米和2毫米的四点测到的长度与中心长度作比较，取绝对差值最大的即为平面平行性偏差）。

例题5 量块分几等几级？如何确定？等和级有什么关系？

解答：量块按测量误差分为1、2、3、4、5、6共六等。按制造精度分为0、1、2、3、4共五级。

量块等的确定：在检定量块时，根据被检量块研合性的好坏，平面平行性极限偏差的大小和中心长度测量的极限误差等技术指标（有时还要相应的考虑被测量块表面的硬度，材料的稳定性和温度线膨胀系数以及中心长度的极限偏差等），把量块分成六等。

量块级的确定：级是按制造精度分的。即按照量块研合性的好坏，平面性、平面平行性偏差的大小和中心长度制造的极限偏差和测量的极限误差等技术条件而确定的。只有在一块量块同时满足这三方面的要求时，才能定为该相应的级别，在确定整套量块的级别时，各块均应符合该级的相应要求。

量块等和级之间的关系是：

(1) 对研合性及平面平行性偏差，规定1、2等与0级；3、4等与1、2级；5、6等与3、4级分别相同。因此，欲检定1、2等量块必须选择不低于0级精度的量块，检定3、4等量块必须选择不低于1、2级精度的量块，检定5等量块必须选择不低于3级精度的量块。

(2) 量块按级检定时其测量误差规定如下：0级量块的测量误差不得超过2等量块的测量误差；1级不得超过3等；2级不得超过4等；3、4级不得超过5、6等。

因此，当测量方法（包括选用的基准量块和仪器）确定后，就可以按测量结果和测量方法误差确定级别。例如，用符合2等量块的测量方法测量时，最高等级不得超过0级；3等不得超过1级；4等不得超过2级；5等不得超过3级或4级。

(3) 等和级的代替使用：0、1、2级量块的中心长度制造极限偏差，分别与3、4、5等量块的中心长度测量极限误差相同，因此0、1、2级量块可分别代替3、4、5等量块使用。

例题6 简述量块量值传递中误差的来源、温度误差的计算方法及等温措施。

解答：以比较法检定量块时，产生测量误差的因素很多，主要有：

(1) 标准量块的检定误差，可由量块检定规程查得，也可用下列公式进行近视计算：

1等量块 $\delta = \pm (0.05 + 0.5 \times 10^{-3} L)$ 微米

2等量块 $\delta = \pm (0.07 + 1 \times 10^{-3} L)$ 微米

- 3等量块 $\delta = \pm (0.1 + 2 \times 10^{-3}L)$ 微米
 4等量块 $\delta = \pm (0.2 + 3.5 \times 10^{-3}L)$ 微米
 5等量块 $\delta = \pm (0.5 + 5 \times 10^{-3}L)$ 微米
 6等量块 $\delta = \pm (1 + 10 \times 10^{-3}L)$ 微米

式中: δ ——量块中心长度测量的极限误差

L ——量块名义尺寸 (单位是毫米)

(2) 仪器的示值误差: 如光学计为 ± 0.25 微米, 立式接触干涉仪为 $\pm (0.03 + 1.5ni \frac{\Delta\lambda}{\lambda})$ 微米。

(3) 读数误差: 操作者在对线时未能准确对准或估读不正确所带来的误差。例如, 使用立式接触干涉仪测量时, 对准误差为 0.007 微米, 估读误差为 0.02 微米, 用光学计测量时, 对准误差为 0.02 微米, 估读误差为 0.1 微米。

(4) 量块截面几何形状, 例如平面性、平面平行性引起的误差。

(5) 量块硬度不同引起的误差, 因为在接触测量时, 由测力所产生的弹性变形跟硬度有关, 测量高硬度量块时, 此项误差在 ± 0.05 微米左右。

(6) 在测量长量块时, 支承点安置得不正确产生的误差。长量块应支承在艾利点上, 因为支承在该点时的平面平行性变形最小, 艾利点位于距该量块测量面的 $0.211L$ 处 (L 为量块长度)。

(7) 温度误差: 由于物体有热胀冷缩的物理特性, 而标准量块或仪器和被检量块都不可能绝对准确在标准温度 (工业中是以 20°C 为标准温度) 下进行检定, 就产生了检定中温度的测量误差。检定中, 环境温度的变化率及实际温度对标准的偏离程度越大以及标准量块或仪器与被检量块之间的温度差、膨胀系数差愈大, 都将使检定的温度误差愈益加大。反之, 如尽可能的使以上各因素减小, 就能使量块检定的温度误差显著减小。这种温度误差, 当测量物体的长度和膨胀系数愈大, 影响也愈大。

规程中明确规定了量块根据尺寸的大小和检定等级的高低, 区分其所应遵守的温度规范, 以便使量块检定工作中产生的温度误差和其它各项因素的误差, 按误差理论合成的结果都不会大于各尺寸等级量块的检定极限误差。

温度误差的计算方法及等温措施是:

① 假设已知被检量块的名义尺寸为 L , 标准量块或仪器的线膨胀系数和温度为 α_N, t_N , 被检量块的长度 $L_{20^\circ\text{C}}$, 考虑温度的修正, 按以下公式计算。

$$L_{20^\circ\text{C}} = L \left\{ 1 - \left[\alpha_P (t_P - 20) - \alpha_N (t_N - 20) \right] \right\}$$

式中: N ——标准量块

P ——被检量块

② 如果以上参数 α_N, t_N, t_P 只知道它们的范围, 虽不能计算出修正量, 但可以按下式推算出可能产生的误差:

$$\Delta_{\text{极限}} = L \sqrt{(\alpha_P - \alpha_N)^2 \Delta t_P^2 + \alpha_N^2 (t_P - t_N)^2}$$

式中: Δt_P ——被检量块温度和 20°C 的最大差值。

实际上，上面公式是下述两种温度误差的误差合成：

A. 被检量块的温度对20℃的偏离 Δt_p 造成的误差：

$$d\Delta L = \pm \sqrt{2} \Delta\alpha L \Delta t_p$$

在这里曾假设采取等温措施后，标准量块、仪器、被测量块及环境空气温度是一致的。

$d\Delta L$ 为由于标准和被测量块线膨胀系数不同造成的误差则：

$$\begin{aligned} d\Delta L &= \pm \sqrt{\left(\frac{\partial \Delta L}{\partial \alpha_0} d\alpha_0\right)^2 + \left(\frac{\partial \Delta L}{\partial \alpha} d\alpha\right)^2} \\ &= \pm \sqrt{\left[L(t-20)d\alpha_0\right]^2 + \left[L(t-20)d\alpha\right]^2} \end{aligned}$$

当标准和被测量块的线膨胀系数均为

$$\alpha \pm \Delta\alpha = 11.5 \pm 1 \mu\text{m}/\text{m} \cdot \text{C} \quad \alpha_0 = \alpha \text{ 时}$$

$$d\Delta L = \pm \sqrt{2} \Delta\alpha L \Delta t_p$$

B. 被测量块温度与标准量块温度不一致 ($t_p \neq t_N$) 造成的误差：

在这里假设存在下列情况，即标准和被检量块、仪器及环境空气的温度都在允许的范围之内，但各不相同，这时将产生热量交换，致使温度不稳定，但由于测量时间短，暂把它们看成在使用仪器检定的时间内是稳定的。因此这里主要是由标准量块与被检量块的温度不均匀而产生的误差。此误差

$$\delta = \alpha_p L_p (t_p - 20) - \alpha_N L_N (t_N - 20)$$

$$\text{如取 } \alpha_N = \alpha_p \quad L_N = L_p = L$$

则上式可改写为：

$$\begin{aligned} \delta &= \alpha_N \cdot L [(t_p - 20) - (t_N - 20)] \\ &= \alpha_N L (t_p - t_N) \end{aligned}$$

由上式可见，因被检量块和标准量块之间的温差造成的误差是比较大的，应尽量减少，主要措施是在检定中进行定温。

C. 定温的方法：

由式 $\delta = \alpha_N L (t_N - t_p)$ 可知，在二者材料相同的情况下，温度误差主要决定于二者的温度差，因此，如能使其温度相同，虽然对标准温度有所偏离，也可以消除温度误差。这就是用定温的方法。所谓定温是指被检量块、标准量块和仪器置于同一温度条件下，经过一定的时间，使二者与周围的温度相一致，然后再进行检定，定温的时间 (τ) 可以根据下式计算、

$$\tau = K \frac{\gamma \cdot V}{F} \lg \left(\frac{\Delta t_1}{\Delta t_2} \right) \quad (\text{分})$$

式中： γ ——密度 (公斤/米³)；

V ——体积 (米³)；

F ——表面积 (米²)；

Δt_1 ——最初的温度差；

Δt_2 ——最后 (要求) 的温度差；

K ——系数，它是决定于被测件冷却条件的系数。铸铁工件在木桌上时， $K = 31.3$ ，在铸铁平板上时， $K = 6$ 。

例题7 分析用立式接触干涉仪能检定二等量块的原因。

解答:

(1) 分度值误差对测量精度的影响:

干涉仪的分度值不是固定的, 可根据需要来调节, 分度值定得正确与否是直接影响测量精度的, 所以每次测量前都必须仔细地调节分度值, 并认真校对。定分度值按下式计算:

$$i = \frac{K\lambda}{2n} \quad (2.1.1)$$

由上式可知: 分度值*i*的准确性取决于二个因素, 首先是所用的干涉滤光片波长 λ 的精度; 其次是*n*的准确性, 也就是在定分度值时使*K*个干涉带间隔和刻度尺上*n*格的对准程度。对上式进行全微分

$$\begin{aligned} di &= \frac{\partial i}{\partial \lambda} d\lambda + \frac{\partial i}{\partial n} dn \\ &= \frac{K}{2n} d\lambda + \left(\frac{-K\lambda}{2n^2} dn \right) \\ &= i \frac{d\lambda}{\lambda} + \left(-i \frac{dn}{n} \right) \\ &= i \frac{d\lambda}{\lambda} - i \frac{dn}{n} \end{aligned} \quad (2.1.2)$$

一般, 对这种误差是应用均方误差来处理,

$$di = \sqrt{\left(i \frac{d\lambda}{\lambda} \right)^2 + \left(i \frac{dn}{n} \right)^2} \quad (2.1.3)$$

这公式表示了分度值的误差。由于分度值的误差而引起测量值的误差 δ_1 用下式表示

$$\delta_1 = ndi \quad (2.1.4)$$

式中: *n*——在测量时所用刻度尺的格数。

为使测量时的*n*和定分度值所用的*n*相区别, 这里用*n_定*来表示定分度值的*n*, 将*di*之值即(2.1.3)式代入有:

$$\delta_1 = ndi = \sqrt{\left(ni \frac{d\lambda}{\lambda} \right)^2 + ni \left(\frac{dn_{定}}{n_{定}} \right)^2} \quad (2.1.5)$$

式中第一项是由于波长 λ 的不正确而引起的, 波长误差*dλ*除了波长的测定误差 $\Delta\lambda$ 外, 还有如干涉滤光片的安装位置、温度、湿度、大气压等都会引起波长 λ 的变化。干涉滤光片的波长 λ 与入射光线的方向有关, 也就是说由仪器上的照明灯发出的光线, 经聚光镜后变为一组近似于平行的光线, 这组平行光线在进入干涉滤光片时, 由于入射方向不同, 其波长会有变化, 由上光厂生产的仪器所附MgF₂薄膜干涉滤光片来看, 根据干涉原理:

$$m\lambda = 2n_r d \cos \phi_r \quad (2.1.6)$$

式中: *m*——干涉级数(整数);

n_r——MgF₂的折射率;

d——MgF₂薄膜厚度;

ϕ_r ——在薄膜中光线与薄膜平面的不垂直度。

从公式可见, 波长 λ 与 ϕ 角有关。一般干涉滤光片上所标志的波长就是指 $\phi_r = 0$ 的波长

值,即

$$\lambda = \frac{2n_s d}{m} \quad (2.1.7)$$

但在实际使用中,光源灯是需要调节的,更换灯泡后也需调整。所以在一般情况下 $\phi_s \neq 0$ 所以会引起波长的变化,波长误差 $d\lambda'$ 为:

$$\begin{aligned} d\lambda' &= \lambda - \lambda_s = \frac{2n_s d}{m} - \frac{2n_s d}{m} \cos \phi_s \\ &= \frac{2n_s d}{m} (1 - \cos \phi_s) \\ d\lambda' &= \lambda (1 - \cos \phi_s) \end{aligned} \quad (2.1.8)$$

根据光线折射公式

$$n_s \times \sin \phi_s = n_g \times \sin \phi_g$$

因为 $n_g = 1$ 所以 $\sin \phi_s = \frac{\sin \phi_g}{n_s}$

$$\phi_s = \arcsin \frac{\sin \phi_g}{n_s}$$

代入(2.1.8)

$$d\lambda' = \lambda (1 - \cos \arcsin \frac{\sin \phi_g}{n_s})$$

已知: $n_s = 1.38$ $n = 1.5$

$$\lambda = (5300 - 5700) \text{ \AA}$$

$$\text{取} \lambda = 5700 \text{ \AA}$$

$$\text{若} \phi_g = 3^\circ \quad \text{则} d\lambda' = 4.1 \text{ \AA}$$

由上述计算说明,光源位置调整的好坏对波长的数值是有影响的,至于其它诸因素的影响很复杂,也无法计算或用一种公式表示。因此,以波长测定误差 $\Delta\lambda$ 为基数,而将其它诸因素的影响考虑到系数中。

$$\text{取} 0.7\Delta\lambda, \text{ 这样 } d\lambda = \Delta\lambda + 0.7\Delta\lambda = 1.7\Delta\lambda$$

把此数据代入(2.1.5)中第一项得: $1.7ni \frac{\Delta\lambda}{\lambda}$

(2.1.5)式中第二项是在定分度值时, n_s 定得不正确所产生的。在定分度值时需要 K 个干涉带间隔对准刻度尺上的 n_s 格,即以第一根干涉带对准分划板上某一刻度,而第 $(K+1)$ 根干涉带是对准在与第一个刻度相距 n_s 格的位置上,在绝大多数情况下其 n_s 不是整数,所以 $(K+1)$ 根干涉带不是恰好对准在刻度尺的某一刻度上。这样就要估计,其估计就会带来较大的误差,这估计误差还与干涉带的宽度及分度有关。

$$\text{当分度值为} 0.05 \text{微米时, } dn_s \text{ 约为三分之一格, } idn_s = \frac{1}{3}i = 0.017 \mu\text{m,}$$

$$\text{当分度值为} 0.1 \text{微米时, } dn_s \text{ 约为五分之一格, } idn_s = \frac{1}{5}i = 0.02 \mu\text{m,}$$

$$\text{当分度值为} 0.2 \text{微米时, } dn_s \text{ 约为十分之一格, } idn_s = \frac{1}{10}i = 0.02 \mu\text{m.}$$

由上述可看出，虽然分度值不同时干涉带宽度不同，但定分度值的精度却接近，取0.02微米，第一条干涉带是对准在分划板的刻度上，所以对准精度较上述要高得多，取以上数目的三分之一则为0.007微米。

定分度值的过程是根据测量要求选定分度值*i*，随后查仪器说明书可得推荐的*K*值，一般干涉滤光片的波长在5300—5700 Å 之间，根据公式 $n_{\pm} = \frac{K\lambda}{2i}$ 计算出 n_{\pm} 是在42.4—45.6之间，取最小的 $n_{\pm} = 42.4$ ，所以(2.1.5)式的第二项为

$$ni = \frac{dn_{\pm}}{n_{\pm}} = n \frac{dn_{\pm}}{n_{\pm}} = n \frac{\sqrt{0.02^2 + 0.007^2}}{42.4} = 0.0005n$$

另外，物镜的畸变对分度值的正确性是有影响的，但在测量时对测量没有影响。因为物镜的畸变是线性变化的（上光厂物镜的设计数据 $V = 0.00174ni$ ，所以畸变和 n 的关系是线性的）。上述两者的影响效果不仅相反而且数值相同，因此不会引起测量误差（当然，往往由于畸变不对称所定分度值左右略有不一致）。

这样，分度值误差对测量精度的影响为：

$$\delta_1 = \sqrt{\left(1.7ni \frac{\Delta\lambda}{\lambda}\right)^2 + (0.0005n)^2}$$

(2) 在检定仪器时基准量块也有一定的误差，检定本仪器可用一等量块以配对法进行，因此其误差取决于第一块和最后一块量块的误差，一般是用六块量块，中间四块的误差不会影响检定精度。尺寸为10毫米以下的一等量块，其中心长度测量极限误差为0.05微米，平面平行性极限偏差为0.10微米，所引起的误差为0.025微米。

$$\delta_2 = \frac{\sqrt{0.05^2 + 0.025^2 + 0.05^2 + 0.025^2}}{5} = \frac{\sqrt{0.00625}}{5} \approx 0.016 (\mu\text{m})$$

(3) 估读误差：在检定仪器时不免要产生估读误差，每次测量总有二次读数，第一次对准某一刻度，第二次是对被检分度的误差估读，这二项误差与定分度值时一样，对准误差为0.007微米，估读误差为0.02微米，但由于检定仪器示值时是用配对法进行的，所以对被检分度要进行多次读数，前面已提到是用六块量块检定，这样对每一被检分度要测量5次，估读误差（偶然误差）可按下式计算：

$$\delta_3 = \sqrt{\frac{1}{n} \times (0.02^2 + 0.007^2)} \approx 0.01 (\mu\text{m})$$

(4) 仪器示值不稳定对示值精度的影响：根据标准规定，仪器示值不稳定性不应大于0.02微米，不稳定性是由各种因素造成的，如测量力的变化和测量轴径向窜动等的影响。

$$\delta_4 = 0.02 \mu\text{m}$$

(5) 干涉光管的示值最大不准确度：干涉光管最大不准确度是由上述因素造成的。由于检定仪器时要进行两次读数，所以示值不稳定性影响两次：

$$\begin{aligned} \delta &= \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2 + \delta_3^2 + 2\delta_4^2} \\ &= \sqrt{\left(1.7ni \frac{\Delta\lambda}{\lambda}\right)^2 + (0.0005n)^2 + 0.016^2 + 0.0000898^2 + 2 \times 0.02^2} \end{aligned}$$

$$= \sqrt{\left(1.7ni \frac{\Delta\lambda}{\lambda}\right)^2 + (0.0005n)^2 + 0.001056}$$

用最小二乘法解上式

$$\text{设 } \lambda = 5300 \text{ \AA} \qquad \Delta\lambda = 20 \text{ \AA}$$

$$\text{当 } i = 0.05\mu\text{m}, \qquad \delta = 0.031 + 1.42ni \frac{\Delta\lambda}{\lambda}$$

$$\text{当 } i = 0.1\mu\text{m}, \qquad \delta = 0.029 + 1.21ni \frac{\Delta\lambda}{\lambda}$$

$$\text{当 } i = 0.2\mu\text{m}, \qquad \delta = 0.024 + 1.34ni \frac{\Delta\lambda}{\lambda}$$

上述三个示值最大不准确度，是根据三个常用分度值，并取最小波长 $\lambda = 5300 \text{ \AA}$ ，最大波长误差 $\Delta\lambda = 20 \text{ \AA}$ 的情况，在上述三式中，取最大的，并使系数简单化，

$$\delta = 0.03 + 1.5ni \frac{\Delta\lambda}{\lambda}$$

(6) 仪器的测量误差：仪器的测量误差是随被物件而不同，下面仅以传递二等量块为例：

① 以 1 等量块为基准所带来的误差：根据一等量块检定规程，中心长度检定极限误差为

$$\Delta_1 = \pm (0.05 + 0.5 \times 10^{-3} L) \mu\text{m}$$

式中：L——量块长度，单位为毫米

平面平行性极限偏差为：在尺寸 < 10 毫米时，最大为 0.15 微米。

$$\Delta_2 = \frac{1}{4} \times 0.15 \mu\text{m} = 0.0375 \mu\text{m}$$

② 温度误差：由于基准块和被检块的线膨胀系数不可能完全一样，同时基准块和被检块的温度也不可能完全一致，因此，必须严格地控制室温、仪器温度和量块温度对 20℃ 的偏离，但实际上相互之间总有一些差别，这就给测量带来了误差，因此对温度提出了相应的要求，温度误差由下式表示：

$$\Delta_3 = \sqrt{(\alpha_P - \alpha_N)^2 (\Delta t_P)^2 + \alpha_N^2 (t_P - t_N)^2} \times L$$

式中：P——表示被检量块

N——表示基准量块

假设：

A. 被检量块的温度对 20℃ 的偏离量为 $\Delta t_P = 0.5^\circ\text{C}$ （检定规程规定，检定二等量块当尺寸大于 10—100 毫米时，要求温度对 20℃ 的允许偏差为 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ ）。

B. 基准量块线膨胀系数 $\alpha_N = (11.5 \pm 1) \times 10^{-6}$

C. 基准量块和被检量块之线膨胀系数可能的最大差值 $(\alpha_P - \alpha_N) = \sqrt{2} \times 10^{-6}$

则

$$\begin{aligned} \Delta_3 &= \sqrt{\sqrt{2}^2 \times 0.5^2 + 12.5^2 \times 0.05^2} \times 10^{-6} L \\ &= \sqrt{0.89} \times 10^{-6} L \\ &\approx 0.9 \times 10^{-6} L \text{ (mm)} \\ &= 0.9 \times 10^{-3} L \text{ (\mu m)} \end{aligned}$$

③ 测量轴线与工作台不垂直度对测量精度的影响：由于本仪器是比较测量的，因此，这项误差与被检量块的长度无关，而与标准量块和标准量块的长度差有关。由此引起的误差是二次误差。

$$\Delta_4 = S (1 - \cos \alpha)$$

式中： S ——被检量块与标准量块之长度差；
 α ——测量轴线与工作台的垂直度偏差。

因此，该项误差可以不考虑，这样，仪器的测量误差

$$\begin{aligned} \delta_{\text{测}} &= \sqrt{\delta^2 + \Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \Delta_3^2} \\ &= \sqrt{\left(0.03 + 1.5ni \frac{\Delta\lambda}{\lambda}\right)^2 + (0.05 + 0.5 \times 10^{-3}L)^2 + 0.0375^2 + (0.9 \times 10^{-3}L)^2} \end{aligned}$$

由于二等量块是零级量块检定而得，零级量块的制造精度为： $(0.10 + 2 \times 10^{-3}L)$ ，因此，测量范围 ni 总在这个数值内，则

$$\delta_{\text{测}} = \sqrt{\left[0.03 + 1.5(0.1 + 2 \times 10^{-3}L) \frac{\Delta\lambda}{\lambda}\right]^2 + (0.05 + 0.5 \times 10^{-3}L)^2 + 0.0375^2 + (0.9 \times 10^{-3}L)^2}$$

设 $\lambda = 5300 \text{ \AA}$ $\Delta\lambda = 20 \text{ \AA}$

$$\delta_{\text{测}} = \sqrt{\left[0.03 + 1.5(0.1 + 2 \times 10^{-3}L) \frac{0.002}{0.5300}\right]^2 + (0.05 + 0.5 \times 10^{-3}L)^2 + 0.0375^2 + (0.9 \times 10^{-3}L)^2}$$

经计算得：

$$\delta_{\text{测}} = \sqrt{0.0048404 + 0.50692 \times 10^{-3}L}$$

应用最小二乘法简化上式：

$$\delta_{\text{测}} = 0.069 + 0.225 \times 10^{-3}L$$

二等量块的中心长度测量极限误差为

$$0.07 + 10^{-3}L$$

因此，应用立式接触干涉仪可以检定二等量块。

例题 8 试说明量块检定的程序。

解答：

(1) 清洗：首先以无锈蚀作用的溶剂汽油（或无水、无酸的航空汽油）将量块表面的防锈涂料洗净，然后用清洁干燥的细软布擦干，并按尺寸次序将量块排列好，放在专用的盘子里，等温数小时；

(2) 外观检定：一般用目测，也可以借助于放大镜观察。检查内容：碰伤，注意一般碰伤处是发亮的。划痕：当观察时，注意常需改变眼睛与量块的角度，以便能清楚地看出表面的划痕。锈蚀：锈蚀处发黄、暗并带有棕黑色。

根据量块的检定规程，以上疵点，只要不产生在量块的中心区域内，经过对其适当的清理，不影响测量和使用。若产生在量块中心区域，影响测量和使用，应予报废。

(3) 平面性的检定：（量块检定规程规定，平面性是包括在研合性中）以平晶的工作

面与量块的工作面轻轻接触，并使相互成一个很小的楔角，不断调整这个角度的大小，使量块工作面上留有便于测量的光波干涉带。根据干涉带弯曲的程度来确定该平面的平面性偏差。其偏差数值为：干涉带的弯曲度，相当于干涉带宽度的倍数、分数，再乘以半波长（白光的半波长为0.3微米）。



图 2.1.2

可用以下简单方法，判断量块是凸是凹：如图（2.1.2），如果干涉带的隆起部分，朝空气楔扩张方向，被检量块便是凸起的（左图）反之则凹下（右图）。

（4）研合性检定，按其检定规程表3要求检定，尺寸在5.5毫米以下的量块，当用平晶与一个工作面研合后，另一个工作面与另一块平晶也要按照同样精度等级要求进行研合性检定。

（5）尺寸在5.5毫米以上的量块只要一个工作面与一块平晶研合，合格后，拆下来，换一个测量面，按同样要求再进行研合，合格即可。

（6）仪器使用前必要的清洗与调整：

各种仪器在使用前，工作部位必须清洗干净。

一般使用立式光学计（投影光学计）时，首先应调整好工作台平面对于测量轴线的垂直度。为此简便的方法是在测杆上装一合格的平面测帽，再在测帽与工作面之间安置尺寸约为5毫米平行性较好的量块，调整工作台，至量块在四个相互垂直的位置接触测帽测量面的一半，进行示值检定时，读数差不应大于0.5微米，注意，此项检验应在工作台充分固紧的条件下进行。在工作台的结构形式上遇到三点支承的情形时，可根据调整轴线至摆动轴线之距与读出的示值差有一固定的比值，实现调整螺钉定量的调整。对于立式接触干涉仪一类分度值可调的仪器，除按要求调整好工作台外，还必须检查和调整好刻度尺的格值。在使用测长机检定大量块前，又必须首先调整好尾管测量部件，使球面测量端中心严格的对准，然后注意调整好测长机的零位，根据支承量块的需要，配置适宜的夹固件，另外，为了掌握温度的变化，应配备对仪器和量块测温的器具，如贴附温度计等，并安置在一个能够比较理想的反映出其温度的部位。

（7）量块放在仪器上进行尺寸检定。首先要定温，直到仪器与量块达到温度规范的要求时才检定。

（8）准备好记录纸，按顺序写好名义尺寸。按正规要求记录，并整理好一切必要的数，坚持校检制度，二人读数超过测量极限误差的三分之一要重新检定。

（9）按规程的要求，进行数据处理，确定精度等级并填写好证书。

（10）清洗量块、涂油、装盒。

例题9 试述用立式接触干涉仪进行量块尺寸检定的方法、步骤。

解答：检查仪器各部件，装好球面测帽，选用合适的主工作台（当检定10毫米以下的量块时，应采用球筋工作台，并应检查调整好上下两球面测量端顶点的重合性，当测量10毫米以上量块时，应采用带筋工作台）。检查并调整好仪器，主要包括入射光线的方向及视场的照明度，干涉带移动方向的正确性，格值及干涉带的清晰度。具体的方法、步骤是：

（1）将仪器工作台及测量部件清洗干净。可用擦洗干净的量块，轻轻在工作台面上移

动后，观察量块接触面无可见油迹即可。

(2) 使仪器测量端与工作台面（或量块）接触，让黑色干涉带位于刻度尺“0”附近。

(3) 检查测量杆向上移动时，干涉带是否由刻度尺“-”端向“+”端移动，否则，转动干涉箱侧面的十字螺钉，使干涉带变至最宽“倒转”，即可改正干涉带的移动方向和量杆的移动方向相一致。

(4) 定格值：就是用改变空气楔形板的楔角的方法，来调整干涉带的宽度，使一定数量的干涉带与刻度尺上相应的刻度数相重合，调至所需的格值*i*，其关系式为

$$n = \frac{\lambda \cdot K}{2i}$$

式中：*n*——*K*条干涉带间隔所应包含的刻度数；

λ ——单色滤光片波长；

i——刻度尺的格值；

K——干涉带间隔数。

根据使用经验，推荐*K*值如下表

格值 <i>i</i> (微米)	0.05	0.1	0.2
干涉带间隔数 <i>K</i>	8	16	32

例如：调整格值 *i* = 0.1 微米的计算如下：

此时，根据上面的推荐，*K* = 16 又设

$$\lambda = 0.546 \mu\text{m}$$

则
$$n = \frac{\lambda K}{2i} = \frac{0.546 \times 16}{2 \times 0.1} = 43.68 \text{ (格)}$$

调整工作需要 在 16 条干涉带间隔中包括刻度尺 43.68 格。

放好滤光片，调节变压器，使光线稍强，调节干涉箱侧面的十字槽螺丝，注意在干涉带不倾斜的条件下，其干涉带的宽度，能将 16 个干涉带间隔和刻度尺上 43.68 格对准。并用干涉箱上面的十字槽螺丝调整好干涉带和刻度尺刻线相平行。

(5) 当干涉带的移动方向，仪器的格值及干涉带和刻度尺的平行性经过上述调整而获得满意的结果时，应取下滤光片，改用白光（如光线强可调节变压器），这时将出现一条黑色干涉带和其两旁的彩色干涉带，调节物镜，使黑色干涉带最清晰，当测帽离开工作台在自由状态时，黑色干涉带应位于刻度尺 - 50 附近。

(6) 经过上述调整而获得满意的结果后，即可测量量块。要根据被测量块的截面尺寸选用适当的量块框架和主工作台，10 毫米以下的量块用低框架球筋工作台；10 毫米以上到 50 毫米的量块用中框架，50—100 毫米用高框架带筋工作台。在测量时，先用夹子将标准量块与被测量块成对地放进框架里进行定温，等到仪器与量块温度基本一致，才可检定。

(7) 用臂架升降手轮把干涉仪下降至与标准量块表面接近，再用工作台微动手轮使工作台上升至显微镜中的黑色干涉带位于刻度“0”附近，然后紧固工作台，再转动刻度尺调节螺丝，使黑色干涉带与刻度尺的“0”刻线重合后，拨动拨叉 3—5 次，如示值变化小于 0.1 分度，即可进行测量，如示值变化大于 0.1 分度，则应重新检查调整。

(8) 当格值为 0.1 微米时, 读数要求估读到 0.01 微米。

(9) 测量量块同一长度, 两次读数之差要小于 0.2 分度, 并取两次读数的平均值作为结果, 当差数大于 0.2 分度时, 应重新测量。

(10) 仪器用完后, 应将工作台降低, 并松开固紧工作台的手轮。

例题 10 量块常见的毛病及产生的原因是什么? 如何维护保养?

解答: 量块常见的毛病是锈蚀、划痕和碰伤(毛刺)。锈蚀产生的原因是:

(1) 手直接接触量块, 手汗内有乳酸、盐和水分, 这些对金属都有腐蚀作用。

(2) 使用不良的洗涤剂或清洗后不及时擦干或擦得不干净。

(3) 在使用中或擦量块时, 说话不注意, 唾沫留在量块表面上而生锈。

(4) 防锈油选择不当。

(5) 量块存放不当, 放在潮湿处或温度过高的地方。

防锈的措施是:

(1) 使用量块时, 避免用手直接接触。

(2) 说话时避免面向量块。

(3) 清洗后应用干净布擦干净。

(4) 量块用过或检定后, 如不上油, 应放在有干燥措施的密封器皿内保存, 如涂油, 必须用符合要求的防锈油。

划痕、碰伤产生的原因是: 划痕是由于摩擦引起的, 在测量时, 量块和量块直接研合, 量块与平晶研合, 量块在仪器工作台上移动(或量块直接与工件接触)都要发生摩擦, 加之室内环境卫生差, 空气中的灰尘多, 亦是引起划痕的根源。碰伤是由于用量块时不小心掉在地上, 或量块与量块、量块与零件、量块与仪器工作台等碰撞而引起的。

防止划痕、碰伤的方法是:

(1) 对仪器工作台及其它工具, 在使用量块前应先检查, 有无会引起量块产生划伤的缺陷, 如发现应采取的措施。

(2) 被接触的量块表面应用干净布擦干净。

(3) 涂油一般不宜太厚, 油层薄不易产生气泡。

(4) 碰伤是由于碰撞和跌落而引起的, 这些都只要加以小心就可以避免。

例题 11 激光是怎样形成的? 它有哪些用于长度计量上的特点? 在计量学上长度基准发展的趋势怎样?

解答: 认识了形成激光的机理, 就回答了什么是激光的问题。

形成物质的微小粒子(原子、分子、离子等)的能量数值是一些不连续的量, 它们是一挡一挡地分开的, 称为粒子的能级。在一般情况下, 处在较低能级上的粒子数较多, 而处在高能级上的粒子数较少。一般地把最低能级称为基态, 其它能级都称为激发态, 如果外界能量(光能、热能、电能、化学能)作用到物质上时, 基态粒子就可能被激发到高能级上去, 而处在高能级上的粒子, 又力图回到低能级, 粒子从高能级落到低能级的过程, 称为“跃迁”, 当跃迁仅由粒子本身矛盾运动的结果所导致时, 称为自发跃迁, 当跃迁是由外来光子的带动而形成时, 称为感应跃迁, 或叫受激辐射跃迁, 受激辐射跃迁时放出光子, 而此光子

与外来带动的光子具有相同的特征（它们的频率、相位、传播方向都一致），受激辐射是形成激光的基础。⁶⁹在正常情况下，处在低能级上的粒子数，总是大于处在高能级上的粒子数，因此光吸收总大于受激辐射。但在外来能量足够大时，也有可能使某些物质处在高能级的粒子数多于处在低能级上的粒子数，这种状态称为负分布或叫“粒子数反转”。这时，如果将具有某种能量的光子通过该物体时，它所产生的受激辐射将大于光吸收，再采取适当的方法和装置（如在工作物质的两边放上具有特殊薄膜的反射镜），使具有某种能量的光子反射力最强，而反射回来的光子又撞击未跃迁的粒子，当达到一定程度时，就可以获得大量特征相同的光子，就形成了激光。

激光具有许多独特的特点，如在加工、医疗和国防上广泛的应用了它具有能量集中强度大的特殊功能，这里主要说在长度计量上常用的几个特性：

(1) 方向性好

光束的方向性，是指光束发散角的大小，普通白炽灯光发散角在 360° 范围内。而气体激光的发散角可以小到 10^{-4} 弧度，激光几乎是一束平行光束，它比现今世界上最好的探照灯系统的发散角小几乎几千倍。

会聚方向性好的激光，能使能量集中在直径只有几个波长的光斑上，所以激光的能量密度特别大，甚至比太阳表面同谱线的光能高 10^{10} 倍，由于激光是平面波，所以传播很远，能量也不发散。

利用激光方向性好和能量大的特点，已做成激光测距仪、激光准直仪等。

(2) 单色性好（谱线纯）

单色性是指波长范围很小的一段辐射，通常用谱线宽度或者用半宽度来衡量，普通光源发出的光，一般颜色都极为复杂，而激光由于是利用原子内部固有的能级“跃迁”，再加上激光器的选频放大作用，所以单色性极好。用干涉仪可测的最大长度就越好，可用下式表示：

$$L = \frac{c}{\delta_\nu} \text{ 或 } L = \frac{\lambda^2}{\Delta}$$

式中： L ——最大可测长度；

c ——光速；

δ_ν ——频率宽度；

Δ ——谱线宽度；

λ ——光波波长。

(3) 相干性强

光的相干性，包括时间相干和空间相干，时间相干用相干长度来衡量，空间相干用相干面积来衡量。

普通光源中，由于发光中心相互独立，所以很难有恒定的相位差，因此，相干性很差。对于激光来说，由于各发光中心相互关联，单色性和方向性很好，所以相干性很强。

目前，激光在长度计量中的应用，主要就是应用激光的上述特点，已经做成各种激光测长仪和用于精密定位自准直等仪器。

虽然自1960年第11届国际计量大会规定了“米”的新定义，从此，在国际上开创了采用自然基准的先例，但是，由于氮-86基准谱线 6037 \AA 谱线宽度为 8×10^{-7} ，干涉长度最大也

只到800毫米，而气体激光的谱线宽度在理论上可达到 3×10^{-17} ，现已测到 10^{-14} 量级，干涉长度最大可到数十米乃至数百米，所以在国际上根据理论和大量的实践探索，旨在用激光波长取代氪-86来重新定义“米”。或“米是在1/299792458秒的持续时间内平面电磁波在真空中传播距离的长度”。

为了实现这个目标，关键在于必须得到高度的稳定性和复现性，并能以优于 1×10^{-8} 的精确度测其波长，这就是近年来各国大力研究的主要内容。

现在国际上应用甲烷吸收的 He-Ne 激光，已把稳定性和复现性分别提高到稳定性 1×10^{-14} ，重复性 1×10^{-11} ，并在此基础上，1972 年用甲烷吸收的3.39微米波长绝对测量光速值，达到准确度为 4×10^{-9} 。

$$c = \lambda \cdot f$$

式中：c——光速； λ ——光波波长；f——光频率。
或

$$c = \frac{e}{f}$$

因光速是一物理常数，一旦确定光速值之后，长度就可用时间和光速来表示，那么长度的测量就变成光的传播时间的测量，而波长测量就变成光频率的测量，上面已说，现在国际上测光速已达到准确度为 4×10^{-9} 的水平，而且日后可望更加有所提高，所以这样就可大大提高长度测量的准确度，而且可以实现长度单位和时间单位的统一。这是目前长度计量基准的发展趋势。

(三) 思考题

1. 量块具有研合性的原因是什么？
2. 组合量块时应注意哪些问题？
3. 迈克尔逊干涉仪的基本原理是什么？
4. 为什么支承在艾利点上量块的平面平行性变形最小？
5. 量块的线膨胀系数如何确定？

(四) 学习与参考资料

- | | |
|------------------|---------------------|
| 1. 《长度计量技术》 | 陕西机械学院 |
| 2. 《量块的基本知识》 | 华东地区量块传递经验交流会技术资料汇编 |
| 3. 《公差与配合》 | GB 1800—1804—79 |
| 4. 《长度计量手册》 | 黑龙江省标准计量管理局 哈尔滨工业大学 |
| 5. 《光学》 | 毋国光等编 1979 |
| 6. 《检定与测试中的数据处理》 | 中国计量科学研究院 黄福芸编 1976 |
| 7. 《公差配合与技术测量》 | 辽宁人民出版社出版 |