

最新船舶建造质量

检验测试与监造全过程控制

主 编 陈可欣

实务全书



最新船舶建造质量检验检测 与监造全过程控制

实务全书

主编 陈可欣

江苏工业学院图书馆
藏书章

第二卷

四、理论型线修正和检验

(一) 型线修正的几何意义

凡是不存在不应有的凹凸现象的曲线(或曲面),称为光顺的曲线(或光顺的曲面)。凡是截平面和光顺的曲面相截切而得之截交线必定是光顺的平面曲线,例如型线图上的3组型线;凡是两个光顺曲面相交的相贯线也必定是光顺的空间曲线,例如甲板边线、舷墙顶线和甲板折角线。型线修正就是解决型线光顺与型值对应这一对矛盾的,以使光顺性与一致性得到统一。

船体理论表面是一种左右对称的非规则曲面,组成这个非规则曲面的许多空间的点都存在于某些特定的面内(如横剖面、纵剖面和水线面内),可通过光顺3组型线达到光顺曲面的目的。所以空间曲线、空间曲面的光顺归根结底是一个平面曲线光顺的问题,不过各有其特点而已。对于各个规则曲面的光顺问题,只要从曲面的形成规律着手,就很容易找到一种简捷的办法,但对于非规则曲面却要复杂得多,即在光顺每根型线的时候,必须保持投影关系的一致性(型值对应),没有一致性的光顺性是假的光顺性。而光顺性与一致性常常表现出来是互相“矛盾”的,型线修正就是解决这一对矛盾的过程。我们应从形体分析入手,根据曲面形状特点,确定哪些型线是准确的,哪些型线是不准确的,从多组型线中选择两组能准确反映曲面形状的型线进行重点光顺,只要这两组型线达到一致性和光顺性了,其他各组型线的光顺性就迎刃而解了。例如:

(1) 船体中段、首段舷侧外板的横剖线、水线是比较准确的,纵剖线在这里对光顺不起主要作用。

(2) 中段底部的外板横剖线和纵剖线是比较准确的,因此这段型线的光顺主要是依靠这两组型线。

(3) 对于尾端部的外板,横剖线的准确性不好,因此这部分外板主要是依据水线和纵剖线来光顺的。

(4) 对于艤部的外板,只有横剖线是准确的,无论是纵剖线还是水线都不很准确,这时往往采用一组(或几组)斜剖线(斜截平面垂直W面),这组斜剖线和横剖线就成为型线光顺的主要依据。

(二) 型线修正的原则

型线放样的质量好坏主要体现在每根型线的光顺性、每对型值的一致性和每组型线间距的协调性之中。型线修正的技术要求是:一致性误差不大于 $\pm 2\text{mm}$ 。设计水线以下各点的修正量应以小于图纸上比例的分母值为原则,

如型线图比例是 1:25, 水下型值修正量允许在小于 25mm 的范围内; 设计水线以上各点的修正量可以放宽一些。型线修正应尽量保持原设计型线图的排水体积不变; 船体总长、设计水线长、垂线间长、型宽、型深等主要尺寸不变; 中横剖面上的甲板边线、尾部出口处螺旋桨叶尖与船体型线间的间隙、中纵剖面首尾柱轮廓线等不变。

(三) 型线图的检验

在横剖线图上作斜剖直线并与横剖线接近垂直相交, 以斜剖面与中纵剖面相交点为准, 在纵剖线图 (或水线图) 的格子线上画出斜剖线的真实形状。若斜剖线很光滑, 说明船体型线符合技术要求, 反之, 说明横剖型线不协调, 需要修正斜剖线, 并返画到横剖线图上对应处, 见图 2-4-43。因为水流一般是沿着垂直 W 面的斜剖线方向流动的, 所以光滑斜剖线对保证船舶流体性能有很重要的意义。此外, 斜剖线还能对不与纵剖线和水线相交的尾端最终几个负站曲线起到校正光滑的作用。

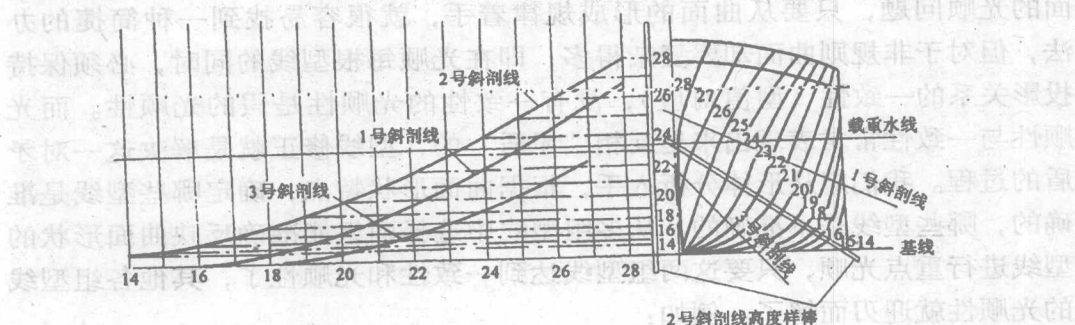


图 2-4-43 船体斜剖线图

第五章

船体建造大、中尺寸测量技术

第一节 大、中尺寸测量的特殊性

船体建造过程中的测量一般可归结为大、中尺寸的测量。目前工程中普遍采用的测量器具有卷尺、角尺、吊（线）锤、水准器、外径卡规、内径量杆等进行直接测量，或采用绕测法、辅助基准法、弓高弦长法等间接测量法，还有采用经纬仪，十一参数立体摄影法等测量方法。实际测量过程中，一般需数人配合，且会产生一些原因较复杂的测量误差。近年来又出现了一些精度及测量效率都较高的测量手段，如磁尺、利用光栅的滚子法、激光干涉仪、全站仪等，由于这些仪器设备的价格较贵，除一些特别需求外，工程采用尚有相当距离。

大、中尺寸测量中，引起测量误差因素很多，现对主要影响因素作如下定性分析：

（一）测量过程中温度变化将导致测量工具及被测工件变形

例如钢制工件的一维变形来说，温度每变化 1°C ，工件长度 1m 的变化量可达 $11.5\mu\text{m}$ 。如果上述物体不能被认为是“均匀”的整体，因温度引起的变形规律还须经过必要的分析计算。同时，在车间或露天的测量环境下，测量工具和被测工件热膨胀的变化量实际上是温度和其他复杂因素的函数，若再计及与各种材料有关系的线膨胀系数等，测量误差实际上是很难把握的。

对于大尺寸的配合件（例如轴和孔），如果测量的环境不同（指时间及温度），测量工具及被测工件的材料不同，将不可避免产生很大的测量误差，这时即使反映在尺寸上可能是合格的，但装配后的配合性质却很难符合要求，甚至不能装配。

某些大尺寸钢结构件可能也会涉及较高的相对尺寸精度,如要求使用螺栓连接的大尺寸零部件、大型船舶或海洋钻井平台分段间的合拢,由于施工及测量环境较差,例如日晒引起工件或测量工具在不同几何面间产生较大温差,产生不均匀变形,引起较大的测量误差。就钢结构件自身来说,其刚性较差也将导致热变形较大且变形规律复杂。这些都将使得测量结果包含很大的测量误差。

因此,在实施大尺寸测量的过程中,应高度重视温度影响,应注意选择与被测工件线膨胀系数尽可能一致的测量工具,测量前应使两者位于同一温度场内(同一位置),并经过一段足以使两者温度一致(包括工件自身各部分温度一致)的时间。

(二) 测量器具受力变形产生的误差

这可以是因为测量器具结构的刚性不足,在测量力以及本身重力的作用下产生变形以致引起测量误差,例如用卡规测量外径时,所引起的测量误差;也可以是因为测量器具自重而产生挠度,或对测量器具加力不均匀(或者与检定时加力不符)而引起测量误差。例如用钢卷尺悬空测量长度时所引起的测量误差。

(三) 测量部位不正确

大工件测量时,往往存在测量线与被测线不重合的矛盾。例如对大尺寸轴、孔直径的测量,用钢卷尺测量两点之间有障碍物的长度,对圆柱体圆度测量时取样截面不垂直圆柱体轴线等,上述均会引起不同程度的误差。

(四) 测量器具应有的精度丧失

原因可能与磨损和其他因素有关,例如外径卡规或内径量杆的端部;也可能与测量器具自身变形有关,如量具自身残余应力重新分布,或热应力不均匀作用等。

除上述所列原因外,被测工件表面形状误差及读数误差等也较常规测量时的影响大。

第二节 大、中尺寸测量技术

一、大尺寸长度的测量

大尺寸长度的测量可用钢卷尺、经纬仪及激光干涉仪等测量器具进行。

(一) 钢卷尺

在工程精度范围内使用传统的钢卷尺测量，目前它至少有以下优点：测量效率较高、读数直观、重量轻、携带方便，以及因钢卷尺价廉而测量费用低等。国内生产的钢卷尺，其制造公差如表 2-5-1 所示。

表 2-5-1 钢卷尺制造公差

标准总长度 (m)	5	10	15	20	30	50	100
全长允许最大误差 (mm)	± 2.5	± 3.5	± 4.0	± 5.0	± 8.0	± 10	± 20

不同的工程项目对测量精度的要求是不相同的。目前直接使用普通钢卷尺对一般民用工程进行测量，尚可满足要求，但对尺寸精度要求稍高的一些工程项目，却需要提高普通钢卷尺的测量精度，才能满足要求。下面对钢卷尺用于精密测量进行讨论。

长度是有基准的，长度基准由国际计量大会规定。为了保证长度传递的统一，又规定了相应的长度传递系统，一般量值传递示意如图 2-5-1 所示。

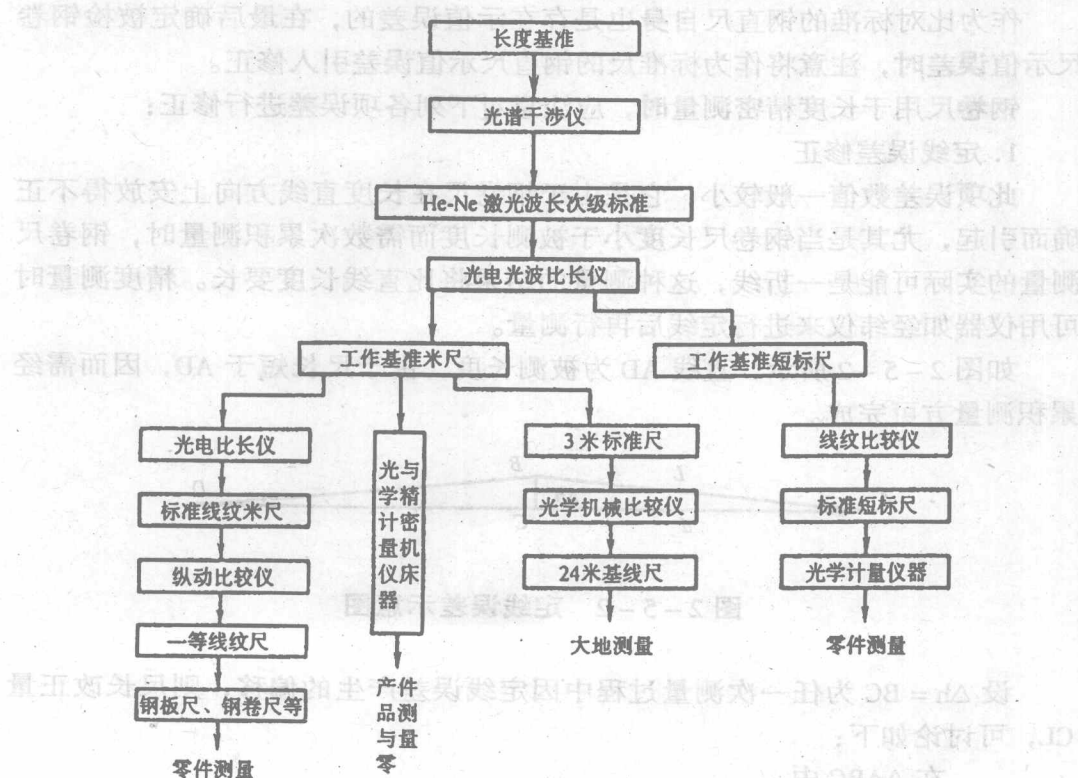


图 2-5-1 量值传递系统示意图

钢卷尺的制造公差前已列出,这也说明钢卷尺的长度刻划并不表示真正的标准长度,这些误差是由于工艺及技术上的多种原因造成的,我们称钢卷尺的刻度示值为名义长度。工程上钢卷尺用于精密测量时,在使用前必须使其与标准长度进行比较,这种比较称为检定。钢卷尺应进行外观、挺直度、线纹宽度、示值误差等项目的检定。

对钢卷尺外观的要求是:尺带需经过处理,重复伸卷两次后不得产生变形;5m以上钢卷尺平铺在卷尺检定台面上,加49N拉力后,尺面和尺边不应有凹凸不平现象;尺面不得有锈蚀和明显斑点、划痕、脱皮、气泡等缺陷。

钢卷尺的示值误差是指全长、m分度、cm分度、mm分度及任一中间线纹到尺的零点端或某段起点端的误差。

挺直度是指当钢卷尺一端水平伸出带盒不大于700mm时,是否垂折而决定该尺是否合格的指标。

5m以上的钢卷尺其尺长示值误差须在长21m的卷尺检定台上进行检定,比对的标准为标准钢卷尺。检定时,钢卷尺须加拉力49N。

长度为5m以下的卷尺检定时不加拉力,直接与长度为1m的钢直尺逐段比较,其全长误差取各段误差代数和。

作为比对标准的钢直尺自身也是存在示值误差的,在最后确定被检钢卷尺示值误差时,注意将作为标准尺的钢直尺示值误差引入修正。

钢卷尺用于长度精密测量时,应注意对下列各项误差进行修正:

1. 定线误差修正

此项误差数值一般较小,它是由于钢卷尺在长度直线方向上安放得不正确而引起,尤其是当钢卷尺长度小于被测长度而需数次累积测量时,钢卷尺测量的实际可能是一折线,这种测量的结果将比直线长度要长。精度测量时可用仪器如经纬仪来进行定线后再行测量。

如图2-5-2所示,直线AD为被测长度,由于尺长短于AD,因而需经累积测量方可完成。

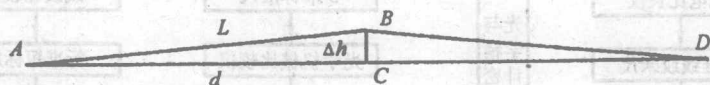


图2-5-2 定线误差示意图

设 $\Delta h = BC$ 为任一次测量过程中因定线误差产生的偏移,则尺长改正量 CL ,可讨论如下:

在 $\triangle ABC$ 中

$$d^2 = L^2 - (\Delta h)^2$$

$$d = [L^2 - (\Delta h)^2]^{1/2} = L \left[1 - \left(\frac{\Delta h}{L} \right)^2 \right]^{1/2}$$

按级数展开

$$\left[1 - \left(\frac{\Delta h}{L} \right)^2 \right]^{1/2} = 1 - \frac{1}{2} \left(\frac{\Delta h}{L} \right)^2 - \frac{1}{8} \left(\frac{\Delta h}{L} \right)^4 - \dots$$

取前两项

$$d = L - \frac{(\Delta h)^2}{2L} - \frac{(\Delta h)^4}{8L^3}$$

则

$$CL = L - d = \frac{(\Delta h)^2}{2L} + \frac{(\Delta h)^4}{8L^3}$$

当 $\frac{\Delta h}{L} < 3\%$ 时, 可取前一项, 即

$$CL = \frac{(\Delta h)^2}{2L}$$

注意, 该项改正量应为负值, 因为钢卷尺示值因此项误差而大于实际值。

2. 尺长误差修正

前面讨论了钢卷尺检定的一般规程, 下面对一些细节及误差修正进行叙述。

若 L_0 为钢卷尺名义长度, L_k 为检定结果长度, 则钢卷尺长的改正数为

$$CL = L_k - L_0 \quad (3-3-1)$$

例 1 某钢卷尺名义长度为 50 000mm, 检定结果为 49 987.5mm, 则尺长改正数为

$$\begin{aligned} CL &= L_k - L_0 \\ &= 49\,987.5 - 50\,000 = -12.5\text{mm} \end{aligned}$$

钢卷尺的检定也有采用整尺段读数, 然后将其尺长差平均分配的方式, 对于这种情况, 则上例单位尺长改正数为

$$CL' = (49\,987.5 - 50\,000) / 50 = -0.25\text{mm/m}$$

若两点间距离并非待检示值但已精确测得, 用待检定的钢卷尺去测量该值, 则改正数可分两步计算, 首先计算测量值处的尺长差:

$$\Delta L = \text{检定场的标准长度} - \text{钢卷尺实测示值}$$

然后进行线性修正。

例 2 设检定场标准长度为 49 990.06mm, 某钢卷尺实际测量长度值为 49 995.855mm, 求其尺长改正数。

$$\text{解} \quad \Delta L = 49\,990.06 - 49\,995.855 = -5.795\text{mm}$$

对于 50m 的检定长度, 设钢卷尺误差是线性的, 则改正数为

$$CL = \frac{-5.795 \times 50\,000}{49\,995.855} = -5.8\text{mm}$$

3. 温度误差修正

温度的升高会引起物体体积膨胀,不同的材料在温度变化时其膨胀程度是不相同的。在此,仅讨论作为测量工具的钢卷尺沿尺长方向一维热膨胀。与一维热膨胀对应的材料尺寸变化率称线膨胀系数,是指当温度升高 1°C 时,单位长度的物体一维伸长值。

设标准温度为 t_0 ,钢卷尺长度为 L ,当温度自 t_0 变化为 t 时,尺长自 L 变为 L_t ,则钢卷尺之线膨胀系数为

$$\alpha_1 = \frac{L_t - L}{(t - t_0) L}$$

设尺长温度改正数为 $C_t = L_t - L$,则上式可写为

$$C_t = \alpha_1 L (t - t_0) \quad (3-3-2)$$

线膨胀系数一般随钢卷尺不同而存在若干差异,其值在 $0.000\ 011 \sim 0.000\ 012\ 5/^{\circ}\text{C}$ 之间,通常取 $\alpha_1 = 0.000\ 011\ 2/^{\circ}\text{C}$ 。如需取得某一尺精确线膨胀系数,可假定标准温度后,在各种温度变化情况下求得 α_1 值,然后经数值处理回归出一条 $\alpha_1 - t$ 曲线供使用。

改正数表达式中的 t_0 为标准温度,一般取为 20°C 。

例3 用钢卷尺量得读数为 $50\ 000\text{mm}$ 的大地水平两点,设环境温度为 28°C ,求两点间实际距离。(取 $\alpha_1 = 12 \times 10^{-6}$)

解

$$\begin{aligned} C_t &= \alpha_1 L (t - t_0) \\ &= 12 \times 10^{-6} \times 50\ 000 \times (28 - 20) \\ &= 4.8\text{mm} \end{aligned}$$

两点间实际距离

$$\begin{aligned} L_t &= L + C_t \\ &= 50000 + 4.8 = 50004.8\text{mm} \end{aligned}$$

由本例可以看出,当温度变化 1°C ,钢卷尺的尺长变化量为 $4.8/8 = 0.6\text{mm}$ 。另外,测量者还须注意,钢卷尺的温度不一定等于被测工件的温度,此两者的温度也不一定与气温相同,夏季阳光照射后将使上述三者的距离拉大而使测量成果误差加大。

4. 拉力误差修正

在材料的弹性限度内,钢卷尺也是一个弹性体,其长度的改变量与其两端的拉力成正比的。钢卷尺检定时是在规定的拉力下进行的,所以测量时应注意对钢卷尺施加相同的拉力,工程上一般采用弹簧称来达此目的。

在作大跨度测量时,有时采用较大的拉力,而较大的拉力势必引起钢卷尺较大的伸长,故必须对其进行修正。

材料受拉变形的一般表达式

$$\Delta L = \frac{\Delta FL}{ES}$$

本项误差是因为测量时与检定时拉力不同引起。设检定时拉力为 F_0 ，测量时的拉力为 F ，所以上式可写为

$$C_F = \frac{(F - F_0) L}{ES} \quad (3-3-3)$$

式中 C_F ——拉力改正数；

L ——尺长；

E ——钢卷尺材料弹性模量，约 $205\,800\text{N/mm}^2$ ；

S ——钢卷尺横截面面积。

例4 某钢卷尺的横截面积为 3.2 mm^2 ，检定时拉力为 49N ，今用 98N 拉力测量两点之间的距离，尺面读数为 $28\,000\text{mm}$ ，求此两点实际距离。

$$\text{解} \quad C_F = \frac{(98 - 49) \times 28000}{3.2 \times 2.1 \times 10^5} = 2.04\text{mm}$$

$$L' = L + C_F$$

$$= 28000 + 2.04 = 28002.04\text{ mm}$$

5. 垂曲误差修正

在测量大尺寸距离的两点时，可能存在着使尺面不平或使其悬空的情况。尺面越过障碍物时则发生反曲，悬空时，则发生垂曲现象，这两者都使钢卷尺示值大于实际长度，故必须对此项误差进行改正。

(1) 用实验方法确定垂曲误差。对待测的跨距设立两可靠的桩柱，桩柱高大于 1m ，在两桩柱之间按检定要求设立等高托桩，按规定拉力测量两桩柱顶上标志间距离。撤掉中间所有托桩，再行测量两桩柱顶上标志间的距离。两次测量结果的差值即为该长度钢卷尺垂曲误差的改正数。

例5 AB两点在有托桩时钢卷尺在 98N 拉力下的读数值为 $28\,000\text{mm}$ ，去掉中间托桩后再行测量其值为 $28\,003\text{mm}$ ，则该尺在 $28\,000\text{mm}$ 时的垂曲改正值为

$$28\,003 - 28\,000 = 3\text{mm}$$

(2) 用矢距公式计算垂曲改正值。在待测跨距两端及中间设三个等高托桩，当钢卷尺垂曲稳定后测量中间托桩顶部至钢卷尺的距离，称其为矢距，如图 3-3-3 所示。则改正数为

$$C_s = \frac{8f^2}{3L}$$

式中 f ——矢距；

L ——钢卷尺实长。

例6 悬空测量高度相同的 AB 两点，钢卷尺的读数为 $28\,003\text{mm}$ ，矢距为 180mm ，求 AB 两点间跨距。

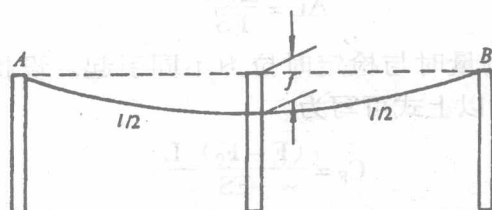


图 2-5-3 矢距法求垂曲改正示意图

解 $C_s = \frac{8}{3} \times \frac{180^2}{28003} = 3.1\text{mm}$

跨距 $L = 28003 - 3.1 = 27999.9\text{mm}$

(3) 由钢卷尺重量求垂曲改正值。根据钢卷尺单位长度质量，按下述公式计算垂曲改正值

$$C_s = \frac{m^2 g^2 L^3}{24 F^2} \quad (3-3-4)$$

式中 m ——钢卷尺单位长度质量；

F ——拉力；

L ——跨距。

例 7 对于例 6，设钢卷尺每米质量为 0.0156kg ，拉力为 49N ，跨距为 28m 。求垂曲改正值。

解 $C_s = \frac{0.0156^2 \times 9.8^2 \times 28^3}{24 \times 49^2} = 8.9\text{mm}$

当钢卷尺每米 0.019kg ，所施拉力为 98N 时

$$C_s = \frac{0.019^2 \times 9.8^2 \times 28^3}{24 \times 98^2} = 3.3\text{mm}$$

6. 操作误差

为了再现检定时对钢卷尺施加规定拉力的要求，测量时一般也对钢卷尺两端加力。加力的结果使得钢卷尺刻划严格对准长度端点发生困难，这势必产生一超过正常对线的误差。当然，若设计一特殊夹紧钢卷尺且能沿尺长方向微调者则另当别论。另一项误差由读数不准确引起。此两误差可通过多次读数取其平均值而减小。

7. 本项误差为一些须通过试验或特别分析方可估计的误差

它们是钢卷尺总存在不同程度的弯折由此而引起的误差，此项误差还与钢卷尺的新旧程度有关；钢卷尺面与被测体间磨擦引起的误差、钢卷尺非水平悬空测量产生的垂曲误差、由气流使钢卷尺产生的弯曲误差等。

综上所述，若要将钢卷尺用于精密测量，必须在对钢卷尺进行检定的基

◆第五章 船体建造大、中尺寸测量技术◆

基础上,对各项误差进行改正。但必须指出,由于量具上的缺陷、采用的方法和操作上的一些问题,因此虽经多项误差改正,但仍存在一定的误差。就钢卷尺精度而言,在实验条件下,不高于 $10^{-5} \sim 5 \times 10^{-6}$ 。

为了方便现场操作及简化计算,可把各项改正数制成表格以供查阅。

(1) 钢卷尺尺长差及温度改正表。综合 (3-3-1) 及 (3-3-2) 式可得关于尺长差及温度改正的尺长方程式

$$L_t = L + CL + C_t = L + CL + \alpha_1 L (t - t_0) \quad (3-3-5)$$

式中 L_t ——温度为 t 时的尺长;

L ——尺面读数值;

α_1 ——钢卷尺线膨胀系数;

t_0 ——标准温度 (取 $t_0 = 20^\circ\text{C}$);

CL ——尺长改正数。

按此方程式,变动尺长及温度依次计算,这一系列的计算结果对于每一把钢卷尺可列出一个表。

例 8 某钢卷尺在 50 000mm 处和尺长改正数为 -6.735mm,其线膨胀系数取 12×10^{-6} ,求其 50 000mm 尺长方程式。

解 由 (3-3-5) 式可得 50000mm 处尺长方程式

$$\begin{aligned} L_t &= 50000 - 6.735 + 12 \times 10^{-6} \times 50000 \times (t - 20) \\ &= 49993.625 + 0.6 (t - 20) \end{aligned}$$

由此式即可得一系列关于温度变化时 50000mm 刻度处的实际尺长,若再变动尺长,即可获如表 3-3-2 所示的对于尺长差及温度的改正表。

表 3-3-2 尺长差及温度改正表 (mm)

	10℃	11℃	12℃	13℃	14℃	15℃	16℃	...
1000	-0.256	-0.244	-0.232	-0.220	-0.208	-0.196	-0.183	
2000	-0.512	-0.488	-0.464	-0.440	-0.416	-0.392	-0.368	
3000	-0.768	-0.732	-0.696	-0.660	-0.642	-0.588	-0.552	
4000	-1.024	-0.976	-0.928	-0.880	-0.832	-0.784	-0.736	
5000	-1.280	-1.220	-1.160	-1.100	-1.040	-0.980	-0.920	
6000	-1.536	-1.464	-1.392	-1.320	-1.248	-1.176	-1.104	
7000	-1.702	-1.708	-1.624	-1.540	-1.456	-1.372	-1.288	
8000	-2.048	-1.952	-1.856	-1.760	-1.664	-1.568	-1.472	
⋮								

例9 表3-3-2所对应的钢卷尺在温度为14℃时量得的距离为8000mm,求此距离的实际长度。

解 由表3-3-2,在8000mm及14℃交叉处查得改正数为-1.664mm,则

$$L_s = 8000 - 1.664 = 7998.336\text{mm}$$

(2) 钢卷尺垂曲与拉力联合改正公式。在进行距离较大(如>30m)的悬空测量时,往往需要加大拉力以保持钢卷尺平稳,这就要进行垂曲改正、拉力改正、尺长改正及温度改正等四项改正。后两项前已述及,而垂曲改正和拉力改正则可联合进行。

综合拉力改正公式(3-3-3)及垂曲改正公式(3-3-4)可得

$$\begin{aligned} C &= C_F - C_s = \frac{(F - F_0)L}{ES} - \frac{m^2 g^2 L^3}{24F^2} \\ &= L \left(\frac{F - F_0}{ES} - \frac{m^2 g^2 L^2}{24F^2} \right) \end{aligned} \quad (3-3-6)$$

设 $a = \frac{F - F_0}{ES}$, $b = \frac{m^2 g^2}{24F^2}$, 则(3-3-6)式可写为

$$c = L(a - bL^2) \quad (3-3-7)$$

a, b值当条件取定时为已知数,且可按每把钢卷尺事先计算好作成表格备查。

例10 设 $F = 98\text{N}$, $F_0 = 49\text{N}$, $S = 3.2\text{mm}^2$, $E = 205800\text{N/mm}^2$, 每米尺质量 $m = 0.019\text{kg}$ 。求此钢卷尺的拉力和垂曲联合改正表达式。

解 将各已知值代入a, b表达式

$$a = \frac{98 - 49}{2.1 \times 10^5 \times 3.2} = 7.29 \times 10^{-5}$$

$$b = \frac{0.019^2 \times 9.8^2}{24 \times 98^2} = 1.5 \times 10^{-7}$$

代入(3-3-7)式,得

$$C = L(7.29 \times 10^{-5} - 1.5 \times 10^{-7} L^2)$$

另外,尚须注意各项改正数的符号问题,尤其是将改正数引入划线或称之为定点的放样作业中,确定符号有困难时可考虑作示意图以辅助分析。

(二) 用线纹尺和读数显微镜测量长度

本方法可采用标准线纹尺为基准长度,由相应的瞄准器将之衔接到所要比较的尺寸,再用读数显微镜与被测工件进行比较而获得测量结果。

例如测量10m长的试件,如图3-3-4所示可用1m长的线纹尺作为标准尺,按次序地调整各瞄准显微镜的准确位置,即先用瞄准显微镜的双刻线对准线纹尺的0刻线,再微调1号瞄准显微镜,使其双刻线套在1m刻线上。

如此依次调好各瞄准器的位置, 这样由 0 号瞄准器的轴线到带细分显微镜的第 10 号瞄准器轴线间距离就可用来与所要测量的工件进行比较, 并读出差值。

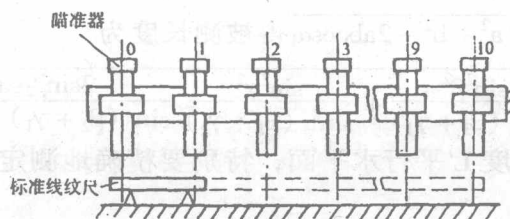


图 2-5-4 用线纹尺和读数显微镜测量大长度

此方式对大长度的测量由于是用累积的方法获得, 不可避免地存在累积误差, 累积误差的大小显然与累积次数有关, 因此, 一般要求累积次数不超过 10 次。

(三) 用经纬仪测量大长度

如图 3-3-5 所示, 将两台经纬仪分别固定在 C 和 D 处, 精确地测量出两经纬仪之间的距离 L 和角度 α 、 β_1 、 γ_1 、 β_2 及 γ_2 , 则由 $\triangle ABC$ 可得

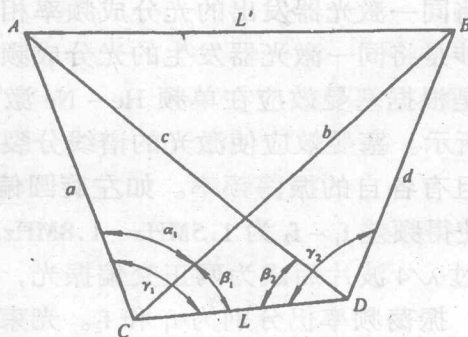


图 2-5-5 用经纬仪测量大长度

$$L' = \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab \cos \alpha_1}$$

由
$$\frac{a}{\sin \beta_2} = \frac{L}{\sin [180^\circ - (\beta_2 + \gamma_1)]}$$

$$a = \frac{L \sin \beta_2}{\sin (\beta_2 + \gamma_1)}$$

$$\text{又} \quad \frac{b}{\sin \gamma_2} = \frac{L}{\sin [180^\circ - (\beta_1 + \gamma_2)]}$$

$$b = \frac{L \sin \gamma_2}{\sin (\beta_1 + \gamma_2)}$$

将 a, b 值代入 $L' = \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab \cos \alpha_1}$ 得被测长度为

$$L' = L \sqrt{\frac{\sin^2 \beta^2}{\sin^2 (\beta_2 + \gamma_1)} + \frac{\sin^2 \gamma^2}{\sin^2 (\beta_1 + \gamma_2)} - \frac{2 \sin \beta_2 \sin \gamma_2 \cos \alpha_1}{\sin (\beta_2 + \gamma_1) \sin (\beta_1 + \gamma_2)}}$$

此法要求被测长度 L' 平行水平面, 特别要精确地测定 γ_1, γ_2 及两台经纬仪之间的距离。

后面还将介绍由一台全站仪或两台经纬仪组成的三坐标测量系统, 它能很方便地处理相对经纬仪组成的直角坐标系中任意两点间的距离。

(四) 用激光干涉仪测量大长度

激光的单色性好, 相干性强, 在精密测量领域中, 无论是在测量精度还是测量范围方面, 都显示了其特有的优越性, 目前已得到广泛应用。

采用激光干涉仪测量大长度的方法有双频激光干涉法和单频激光干涉法。双频激光干涉法较之单频激光干涉法, 其可测距离大, 抗干扰能力强, 尤其是抵抗空气扰动能力强, 因而对环境的要求下降, 使用的范围更广一些。

单频激光干涉是将同一激光器发出的光分成频率相同的两束光使其产生干涉, 而双频激光干涉是将同一激光器发生的光分成频率不同的两束光而产生干涉。分光的方法是根据塞曼效应在单频 He-Ne 激光器的前面置一轴向磁场, 如图 3-3-6 所示。塞曼效应使激光的谱线分裂成两个旋转方向相反的左、右圆偏振光, 且有各自的振荡频率。如左旋圆偏振光的频率为 f_1 , 右旋的频率为 f_2 , 调整使得频差 $f_1 - f_2$ 为 $1.5\text{MHz} \sim 1.8\text{MHz}$ 。

双频激光光束通过 $\lambda/4$ 波片后成为两正交偏振光, 且其偏振方向分别为水平方向和垂直方向, 振荡频率仍分别为 f_1 和 f_2 。光束经反射镜 2 和准直透镜 3 到达偏振分光镜 4 进行分光, 分光镜对于垂直方向偏振光 (f_2) 能全透射, 而对于水平方向振动的偏振光则起全反射作用。水平偏振光 (f_1) 经反射后进入固定参数镜 5, 垂直偏振光 (f_2) 透射到可动镜 6, 并各由立体棱镜 5 和 6 反射, 然后折回到分光面上。棱镜 6 置于被测位移的物体上, 当它移动被测长度 L 时, 由于多普勒效应使测量光束的频率 f_2 经反射后变为 $f_2 \pm \Delta f$ 。

式中 v ——立体棱镜 6 的移动速度;

c ——光速。

偏振光经偏振分光棱镜分光后, 经立体棱镜反射又会合到一起, 经 $\lambda/4$

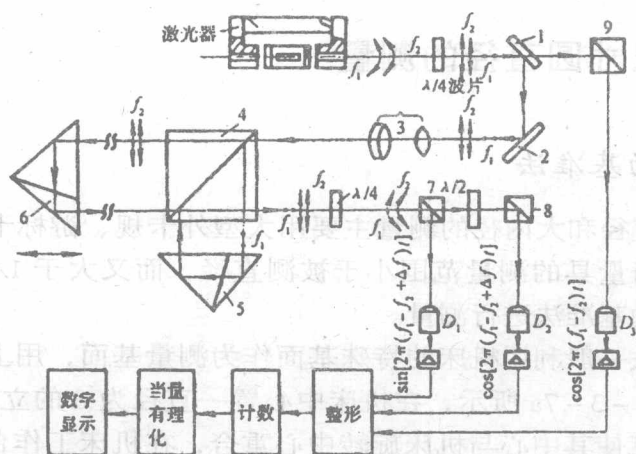


图 2-5-6 双频激光干涉法测量原理

$$\Delta f = \frac{2v}{c} f_2$$

波片后，两个正交偏振光混频，混频后频率为 $f_1 - f_2 \pm \Delta f$ 。光束经过作为检偏器用的偏振分光镜 7，约有 50% 的信号未检而通过，达到偏振分光镜 8。在通过它们中间的 $\lambda/2$ 波片后使得两者检得的信号相位差 90° ，这两路测量信号折向光敏元件 D_1 和 D_2 而被接收，从而分别获得相位差 90° 的参考信号 $\sin [2\pi (f_1 - f_2 \pm \Delta f) t]$ 和 $\cos [2\pi (f_1 - f_2 \pm \Delta f) t]$ 。

为了对信号进行解调的需要，少量光束透过反射镜 1 经检偏器 9 折向光敏元件 D_3 而被接收，以取得频差 $f_1 - f_2$ 的参考信号 $\cos [2\pi (f_1 - f_2) t]$ 作为解调用信号。

由于长度的变化而引起频率 Δf 被测距离的累积脉冲数为

$$n = \int_0^t \Delta f dt = \int_0^t \frac{2v}{c} f_2 dt$$

将 $c = \lambda f_2$ ， $v = \frac{dL}{dt}$ 代入上式

$$n = \int_0^L \frac{2}{\lambda} dL = \frac{2}{\lambda} L$$

则

$$L = n \frac{\lambda}{2}$$

再将其有理化处理，变成具有长度单位当量的脉冲数，被测长度则可由可逆计数器直接显示。