

最新船舶建造、维修

新技术新工艺与法定检验规则
及全面质量管理实用手册

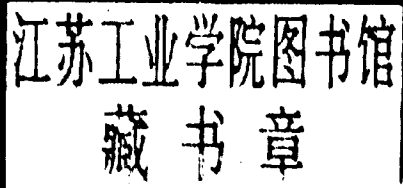


中国建材工业出版社

最新船舶建造、维修新技术新工艺与法定 检验规则及全面质量管理实用手册

本书编委会 编

第 三 卷



中国建材工业出版社

目 录

第一篇 船舶设计制造修理与质量检测验收基础资料	(1)
第一章 船舶常识	(3)
第一节 船舶种类	(3)
第二节 船舶各主要部位名称	(12)
第三节 船舶尺度与主要标志	(17)
第二章 船舶材料	(25)
第一节 金属材料的力学性能	(25)
第二节 钢材	(38)
第三节 有色金属及其合金	(63)
第四节 船用型材、板材及管材	(78)
第五节 金属的腐蚀与保护	(96)
第三章 船舶航行性能	(130)
第一节 浮性	(130)
第二节 稳性	(134)
第三节 抗沉性	(138)
第四节 快速性	(141)
第五节 适航性	(144)
第六节 操纵性	(148)
第四章 造船生产设计的基础知识	(152)
第一节 现代造船模式	(152)
第二节 造船生产设计的基本概念	(154)
第三节 船舶建造编码的基本知识	(159)
第五章 轮机自动化基础知识	(168)
第一节 反馈控制系统的基本概念	(169)
第二节 控制对象的特性	(178)
第三节 调节器的作用规律	(188)
第四节 数字逻辑回路的基本知识	(201)
第六章 修造船现场中的安全	(226)
第一节 高空作业的安全	(226)
第二节 高气压下工作的安全	(228)
第三节 高温、低温下工作的防护	(229)
第四节 安全通道与安全标志	(233)
第五节 采光、照明、通风、供暖和空调	(235)
第六节 上船施工的安全事项	(238)
第七章 船舶工程质量检验与修理	(244)
第一节 质量检验的概念和历史	(244)

第二节	质量检验过程	(251)
第三节	质量检验组织	(271)
第四节	船舶检验与修理	(285)
第二篇	船体结构与制图	(315)
第一章	船体结构概述	(317)
第一节	船舶度量	(317)
第二节	船体的组成	(323)
第三节	船体的受力、变形和强度	(332)
第四节	船体骨架的两种布置形式	(337)
第二章	船体结构	(340)
第一节	外板和甲板板	(340)
第二节	船底结构	(349)
第三节	舷侧结构	(364)
第四节	舱壁结构	(381)
第五节	首尾结构与上层建筑结构	(389)
第六节	滚装船及军用船结构特点	(402)
第三章	组合船体结构分析	(411)
第一节	结构模型化	(411)
第二节	结构分析坐标系	(421)
第三节	不同单元之间的协调	(429)
第四节	特殊单元	(434)
第五节	子结构法	(446)
第四章	船体制图	(454)
第一节	船体制图的一般规定	(454)
第二节	总布置图	(488)
第三节	船体分段结构图	(501)
第四节	基本结构图	(519)
第三篇	船舶船体设计制造修理与质量检测验收	(529)
第一章	概述	(531)
第一节	生产设计准备	(531)
第二节	造船工艺简述	(568)
第三节	船体型线放样	(579)
第二章	船体生产设计	(598)
第一节	船体生产设计的内容及设计程序	(599)
第二节	船体生产设计要领书的编制	(603)
第三节	工作图和套料图	(610)
第四节	船体辅助性作业的设计	(630)
第五节	管理图表	(636)
第三章	船体建造大、中尺寸测量技术	(645)

第一节 大、中尺寸测量的特殊性	(645)
第二节 大、中尺寸测量技术	(646)
第三节 经纬仪三坐标测量系统	(678)
第四节 摄影测量简介	(682)
第四章 船体建造方案	(695)
第一节 船体建造方案的选择	(695)
第二节 船体建造的工艺准备	(706)
第五章 造船精度标准及尺寸精度控制	(716)
第一节 精度标准及造船几何量检测	(716)
第二节 尺寸精度的补偿	(764)
第三节 尺寸精度控制	(786)
第六章 造船金属的切割技术	(811)
第一节 金属的气割	(811)
第二节 等离子切割	(822)
第三节 碳弧气刨	(826)
第四节 水下切割	(830)
第七章 船体装配与焊接	(836)
第一节 熔焊基本理论	(836)
第二节 船体装配与焊接	(866)
第三节 分段和总段装配与焊接	(893)
第四节 船体总装	(931)
第八章 船体修理工艺	(959)
第一节 修船生产准备	(959)
第二节 船体损坏形式及其修理工艺	(969)
第三节 船体修理方案	(993)
第九章 船体舾装检验	(1002)
第一节 舵系制造和安装检验	(1002)
第二节 锚泊及系泊设备安装检验	(1030)
第三节 舱口盖、桅和门窗等舾装件检验	(1032)
第四篇 船舶柴油机安装修理与质量检测验收	(1047)
第一章 柴油机与轮机的基本知识	(1049)
第一节 柴油机基本知识	(1049)
第二节 轮机知识	(1082)
第二章 柴油机在船舶中的应用	(1105)
第一节 大功率低速柴油机	(1106)
第二节 中、高速柴油机在船舶中的应用	(1109)
第三节 船舶柴油机的工作系统	(1110)
第四节 船舶柴油机的工作特性	(1127)
第五节 船舶柴油机的调整	(1135)

第三章 船舶柴油机的修理	(1153)
第一节 船舶柴油机运行中常见故障分析与排除	(1153)
第二节 柴油机主要零件的修理	(1169)
第四章 柴油机的检测验收	(1194)
第一节 主机基座加工检验	(1194)
第二节 主机机座安装检验	(1195)
第三节 曲轴安装检验	(1198)
第四节 机架、气缸体和扫气箱安装检验	(1205)
第五节 贯穿螺栓安装检验	(1206)
第六节 活塞组、十字头和连杆等部件安装检验	(1207)
第七节 气缸盖(头)安装检验	(1212)
第八节 时规齿轮或链条安装检验	(1213)
第九节 柴油主机安装完工检验	(1213)
第五篇 船舶辅机安装检修与质量检测验收	(1217)
第一章 船用泵	(1219)
第一节 船用泵基础知识	(1219)
第二节 往复泵	(1227)
第三节 回转泵	(1241)
第四节 离心泵	(1265)
第五节 叶轮式泵与喷射泵	(1298)
第二章 液甲板机械装置	(1340)
第一节 液压元件	(1340)
第二节 起货机、锚机、系统机及舱口盖启闭装置	(1391)
第三节 舵机	(1420)
第三章 船舶制冷与空气调节装置	(1445)
第一节 船舶制冷概述	(1445)
第二节 压缩制冷装置及工作原理	(1447)
第三节 制冷剂	(1450)
第四节 活塞式制冷压缩机	(1453)
第五节 压缩制冷装置的组成	(1464)
第六节 制冷压缩机的保养和维修	(1469)
第七节 船舶制冷自动化	(1473)
第八节 制冷装置运转前的准备工作	(1487)
第九节 制冷装置的常见故障及排除方法	(1492)
第十节 电冰箱	(1495)
第十一节 船舶空气调节	(1498)
第四章 海水淡化装置和辅锅炉装置	(1504)
第一节 船用海水淡化装置	(1504)
第二节 船舶辅锅炉装置	(1515)

第五章 船体舾装检验	(1574)
第一节 舵系制造和安装检验	(1574)
第二节 锚泊及系泊设备安装检验	(1602)
第三节 舱口盖、桅和门窗等舾装件检验	(1605)
第六篇 船舶轴系安装与质量检测验收	(1613)
第一章 船舶轴系的安装	(1615)
第一节 船舶轴系的功用及其组成	(1615)
第二节 中间轴及轴承	(1618)
第三节 推力轴及推力轴承	(1622)
第四节 尾轴及尾轴管装置	(1625)
第五节 轴系联轴节	(1634)
第六节 船舶轴系的安装	(1638)
第七节 船舶轴系理论中心线确定	(1639)
第八节 按理论中心线镗孔	(1649)
第九节 尾轴管、尾轴及密封装置安装	(1652)
第十节 螺旋桨的安装	(1661)
第十一节 轴系校中	(1667)
第二章 轴系及螺旋桨制造和安装检验	(1679)
第一节 螺旋桨、轴和尾轴管加工检验	(1679)
第二节 轴系安装检验	(1704)
第三节 侧推装置安装检验	(1731)
第七篇 船舶电气安装检修与质量检测验收	(1735)
第一章 船舶电气程序控制器的基础知识	(1737)
第一节 可编程序控制器的产生、发展及应用	(1737)
第二节 可编程序控制器的分类方法及特点	(1742)
第三节 可编程序控制器与微处理机及继电控制系统的区别	(1744)
第二章 船舶自动舵的控制	(1747)
第一节 舵机装置	(1747)
第二节 舵机工作原理	(1749)
第三节 船舶自动舵实例	(1763)
第三章 船舶报警系统	(1781)
第一节 SAU 的概要	(1781)
第二节 SAU 的操作	(1789)
第三节 机舱监测报警点的调试程序	(1793)
第四节 报警调试过程中的故障排除	(1796)
第四章 船舶电气设备管理和安全用电	(1797)
第一节 电气设备的船用条件	(1797)
第二节 电气设备接地的意义和要求	(1780)
第三节 电气设备绝缘的意义和要求	(1803)

第四节	电缆的安全使用与维护	(1806)
第五章	船舶电气系统安装检验	(1809)
第一节	船舶法定检验质量管理体系的实施	(1809)
第二节	电气舾装件安装检验	(1817)
第三节	电气接线和设备安装检验	(1825)
第八篇	船舶涂装设计制造修理与质量检测验收	(1835)
第一章	船舶造型与舱室设计概述	(1837)
第一节	船舶造型与舱室设计的主要特征	(1837)
第二节	船舶造型与舱室设计的目的和任务	(1839)
第三节	船舶美学基本理论	(1842)
第二章	船舶舱室内部环境设计	(1873)
第一节	舱室空间设计	(1874)
第二节	环境布置设计	(1878)
第三节	舱室色彩环境设计	(1883)
第四节	光照环境的设计	(1887)
第五节	舱室陈设	(1901)
第六节	典型舱室布置实例	(1908)
第七节	特殊空间设计	(1913)
第三章	船舶舱室门、窗设计	(1921)
第一节	舱室门	(1921)
第二节	窗与窗斗	(1928)
第四章	船舶涂装工艺	(1930)
第一节	船舶腐蚀与防护	(1930)
第二节	船舶除锈工艺	(1937)
第三节	船舶涂装工艺	(1949)
第五章	涂装和内装检验	(1957)
第一节	涂装检验	(1957)
第二节	内装检验	(1975)

注:由于出版社版面限制,故将以下内容存入光盘中,给您阅读带来不便,敬请谅解!

附录:

中国造船质量标准(CB 4000 - 2005)

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 3-3-1 所示。

表 3-3-1 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)	$\pm 2.5 \pm$	± 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 3-3-1 所示。

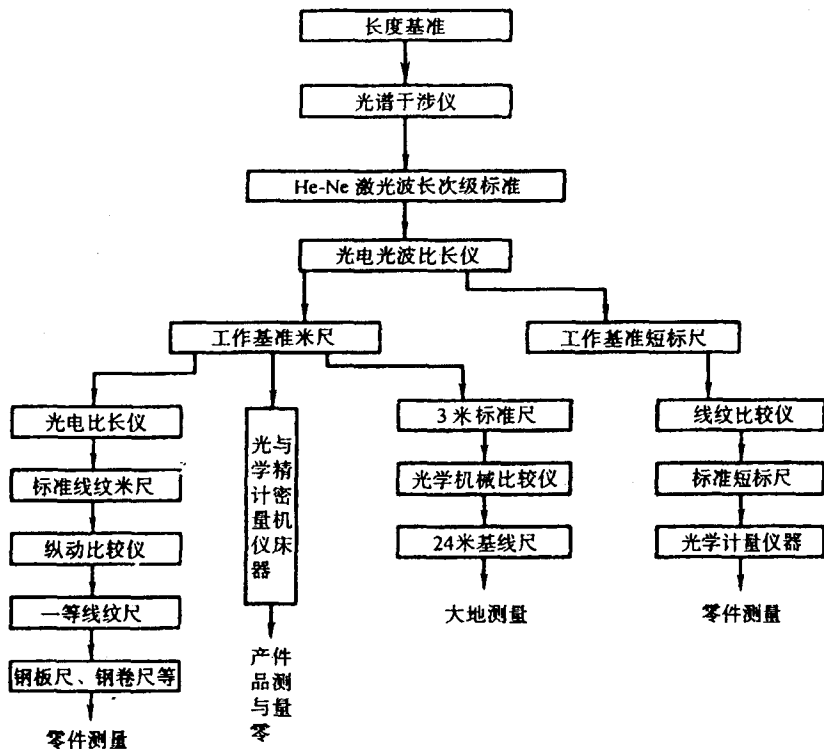


图 3-3-1 量值传递系统示意图

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3-3-2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。

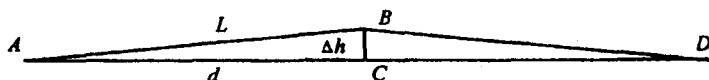


图 3-3-2 定线误差示意图

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。

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

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_1 ，则钢卷尺之线膨胀系数为

$$\alpha_1 = \frac{L_1 - L}{(t - t_0) L}$$

设尺长温度改正数为 $C_t = L_1 - L$ ，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

$$\begin{aligned} L_1 &= L + C_t \\ &= 50000 + 4.8 = 50004.8\text{mm} \end{aligned}$$

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 800N/mm²；

S ——钢卷尺横截面面积。

例 4 某钢卷尺的横截面积为 3.2 mm²，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 000mm，求此两点实际距离。

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

$$\begin{aligned} L' &= L + C_F \\ &= 28000 + 2.04 = 28002.04 \text{ mm} \end{aligned}$$

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 000mm，去掉中间托桩后再行测量其值为 28 003mm，则该尺在 28 000mm 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 003mm，矢距为 180mm，求 AB 两点间跨距。

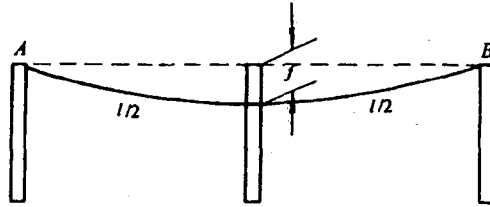


图 3-3-3 矢距法求垂曲改正示意图

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

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

(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

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

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。

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

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摩擦引起的误差、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

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) 式可得到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	
⋮								