

建筑施工现场**十大员**技术操作
标准规范

测量员

当代中国音像出版社

建筑施工现场测量员 技术操作标准规范

主编 李建坤

7U74/10

当代中国音像出版社

书 名: 建筑施工现场十大员技术操作标准规范

文本编者: 李建坤

出版发行: 当代中国音像出版社

光盘生产: 中联光盘厂

出版时间: 2005 年 1 月

本 版 号: ISBN 7-900108-14-9

定 价: 1380 元 (1CD-ROM + 全十卷)

序

随着我国经济建设和科学技术的飞速发展,城乡建设日益扩大,建筑业也不断增加,出现了前所未有的好形势。截至2004年10月我国建筑业的从业人员已达4000余万人,其中来自农村的人员所占比例高达60%以上。为了确保工程质量和工程安全以及工期效益,各施工企业急需培训和补充大量基层施工管理人员。

活跃在建筑施工现场的十大员他们肩负着重要职责。但是他们有的文化知识、业务水平还不高渴望再学习,再努力,再提高。针对这一现状,为了满足施工现场十大员对技术业务知识的需求,满足各施工企业对这些基层管理干部的培训和考核,我们在深入调查研究的基础上,组织上海、北京的有关施工管理部门,以建设部的相关培训计划 and 大纲为基础,本着少而精的原则,结合施工企业目前人员素质现状和实际工作需要,组织编写了这套“建筑施工现场十大员技术操作标准规范”。

丛书共分为十册,它们分别是:施工员、材料员、资料员、试验员、安全员、质量员、测量员、定额员、机械员、现场电工。每册分别介绍各类技术管理人员的工作职责、专业技术知识、业务管理和质量管理实施细则,以及有关专业的法规、标准和规范等,内容强调实用性、科学性、先进性,便于教学和培训之用,是一套看就能会拿来就能教、能学、能用的实用工具书。

本丛书可供施工企业对十大员进行长期培训教材,同时也是作为基层施工管理人员必备工具书。

2004年12月
编委会

编 委 会

主 编 李建坤

编 委 刘振兴 王 军 刘文清 李建勤

张 清 王超兴 罗 玲 黄军成

许艾霞 黎命峰 王真宏 谢东民

严小燕 郑 斌 王 荣 王文武

鲍丙全 徐家荣

前 言

施工测量贯穿于整个施工过程中。从场场平整,建筑物定位、基础施工,到建筑物构件的安装等,都需要进行施工测量,才能使建筑物、构筑物各部分的尺寸、位置符合设计要求。有些高大或特殊的建筑物建成以后,还要定期进行沉降观测与变形观测,以便积累资料,掌握下沉和变形的规律,为今后建筑物的设计、维护和使用提供资料。事实证明,工程建设的全过程是离不开施工测量的。

施工测量工作与工程质量及施工进度有着密切的联系。测量员必须了解设计的内容、性质及其对测量工作的精度要求,熟悉图纸上的尺寸和高程数据,了解施工的全过程,并掌握施工现场的变动情况使施工测量工作能够与施工密切配合,应该说,测量员的工作对按图施工、保证质量,按时完成任务起着重要的作用。

本书根据施工测量员的工作内容详细阐述了测量员在实际工作中应知应会的各项知识,全书内容包括:

- 第一章 建筑施工测量的基本工作
- 第二章 建筑施工地形图
- 第三章 建筑物的定位测量
- 第四章 建筑施工水准测量
- 第五章 建筑物的变形测量与竣工总平面图的编绘
- 第六章 建筑物的抄平放线
- 第七章 建筑物沉降与变形观测
- 第八章 建筑物变形与裂缝观测
- 第九章 建筑场地的施工测量
- 第十章 测量仪器的检验和校正
- 第十一章 建筑施工测量误差
- 第十二章 施工测量中的新设备与新技术
- 第十三章 施工测量仪器标准和其它相关数据

本书可作为建筑企业测量人员的参考书,也可以作为职业、技术学校建筑施工测量课程的教材。

编者

2004年12月

目 录

2005 新版建筑施工现场测量员技术操作标准规范

第一章 建筑施工测量的基本工作	(1)
第一节 施工测量概述	(1)
第二节 距离测量	(2)
第三节 已知角度的测设	(10)
第四节 建筑物细部点的平面位置的测设	(11)
第五节 建筑物细部点高程位置的测设	(16)
第六节 倾斜线的测设	(17)
第二章 建筑施工地形图	(19)
第一节 地形图及其比例尺	(19)
第二节 地形图的分幅、编号、图名与图廓	(23)
第三节 地形图图式	(26)
第三章 建筑物的定位测量	(35)
第一节 施测前的准备工作	(35)
第二节 根据原有地物定位测量	(38)
第三节 根据控制点定位测量	(40)
第四节 特殊平面建筑的定位测量	(44)
第五节 定位测量记录	(54)
第四章 建筑施工水准测量	(57)
第一节 水准测量的基本原理	(57)
第二节 水准测量的仪器和工具	(58)
第三节 水准仪的使用	(62)
第四节 水准测量外业	(63)
第五节 水准测量的内业计算	(69)
第六节 三、四等水准测量	(72)
第七节 水准测量的误差与注意事项	(75)
第五章 建筑物的变形测量与竣工总平面图的编绘	(78)
第一节 建筑物的沉降观测	(78)
第二节 建筑物的倾斜观测	(81)
第三节 建筑物的裂缝观测与位移观测	(83)
第四节 竣工总平面图的编绘	(84)

第六章 建筑物的抄平放线	(86)
第一节 房屋基础的抄平放线	(86)
第二节 砌筑过程中的抄平放线	(92)
第三节 厂房的抄平放线	(97)
第七章 建筑物沉降与变形观测	(102)
第一节 沉降观测水准点的测设	(102)
第二节 建筑物的沉降观测	(106)
第三节 沉降观测中常遇到的问题及其处理	(108)
第四节 建筑物变形与裂缝观测	(110)
第八章 建筑物变形与裂缝观测	(122)
第一节 倾斜观测	(122)
第二节 裂缝观测	(123)
第三节 位移观测	(124)
第四节 用三角高程测量法测定建筑物的沉降变形	(124)
第五节 水平位移观测	(127)
第六节 用前方交会法测定建筑物的水平位移	(128)
第七节 用后方交会法测定建筑物的水平位移	(130)
第九章 建筑场地的施工测量	(135)
第一节 施工控制网概述	(135)
第二节 建筑场地的平面控制测量	(135)
第三节 建筑场地的高程控制测量	(141)
第四节 民用建筑施测量	(141)
第五节 民用建筑施工中的测量工作	(144)
第十章 测量仪器的检验和校正	(151)
第一节 经纬仪的检验与校正	(151)
第二节 水准仪的检验与校正	(154)
第三节 钢尺的检定	(157)
第十一章 建筑施工测量误差	(160)
第一节 测量误差的概念	(160)
第二节 衡量精度的标准	(162)
第三节 算术平均值及其中误差	(163)
第四节 用改正数计算观测值的中误差	(165)
第五节 误差传播定律	(167)
第十二章 施工测量中的新设备与新技术	(173)
第一节 激光经纬仪	(173)
第二节 激光水准仪	(175)
第三节 光电测距仪	(177)
第十三章 施工测量仪器标准和其它相关数据	(180)

第一章 建筑施工测量的 基 本 工 作

第一节 施工测量概述

一、施工测量的目的和内容

施工测量的目的是根据施工的需要,把设计的建筑物、构筑物的平面位置和高程,按设计要求以一定的精度测设在地面上。并在施工过程中进行一系列的测量工作,以衔接和指导各工序间的施工。

施工测量贯穿于整个施工过程中。从场地平整、建筑物定位、基础施工,到建筑物构件的安装等,都需要进行施工测量,才能使建筑物、构筑物各部分的尺寸、位置符合设计要求。有些高大或特殊的建筑物建成后,还要定期进行沉降观测与变形观测,以便积累资料,掌握下沉和变形的规律,为今后建筑物的设计、维护和使用提供资料。

总之,工程建设的全过程是离不开施工测量的。

二、施工测量的特点

测绘地形图是将地面上的地物、地貌测绘在图纸上,而施工放样则和它相反,是将图纸上设计的建筑物、构筑物按其设计位置测设到相应的地面上。

测设精度的要求取决于建筑物或构筑物的大小、材料、用途和施工方法等因素。一般地讲,高层建筑物的测设精度应高于低层建筑物,钢结构厂房的测设精度应高于钢筋混凝土厂房,装配式建筑物的测设精度应高于非装配式建筑物。

施工测量工作与工程质量及施工进度有着密切的联系。测量人员必须了解设计的内容、性质及其对测量工作的精度要求,熟悉图纸上的尺寸和高程数据,了解施工的全过程,并掌握施工现场的变动情况,使施工测量工作能够与施工密切配合。

另外,施工现场工种多,交叉作业频繁,并有大量土方填挖,地面变动很大,又有动力机械的振动,因此各种测量标志必须埋设得特别稳固,应做到妥善保护,经常检查,如有损坏,应及时恢复。

三、施工测量的原则

施工现场上有各种建筑物、构筑物，且分布面较广，往往又不是同时开工兴建。为了保证各个建筑物、构筑物在平面和高程上都符合设计要求，互相连成统一的整体。因此，施工测量和测绘地形图一样，也要遵循“从整体到局部，先控制后碎部”的原则。先在施工现场建立统一的平面控制网和高程控制网，然后以此为基础，测设出各个建筑物和构筑物的位置。

施工测量的检查与校核工作也是非常重要的，必须采用各种不同的方法加强外业和内业的校核工作。

第二节 距离测量

根据不同的精度要求，距离测量有普通量距和精密量距两种方法。精密量距时所量长度一般都要加尺长、温度和高差三项改正数，有时必须考虑垂曲改正。丈量两已知点间的距离，使用的主要工具是钢卷尺，精度要求较低的量距工作，也可使用皮尺或测绳。

一、普通量距

1. 测距方法

先用经纬仪或以目测进行定线。如地面平坦，可按整尺长度逐步丈量，直至最后量出两点间的距离。若地面起伏不平，可将尺子悬空并目测使其水平。以垂球或测钎对准地面点或向地面投点，测出其距离。地面坡度较大时，则可把一整尺段的距离分成几段丈量；也可沿斜坡丈量斜距，再用水准仪测出尺端间的高差，然后按式（2）求出高差改正数，将倾斜距离改化成水平距离。

如使用经检定的钢尺丈量距离，当其尺长改正数小于尺长的 $\frac{1}{10000}$ ，可不考虑尺长改正。量距时的温度与钢尺检定时的标准温度（一般规定为 20°C ）相差不大时，也可不进行温度改正。

2. 精度要求

为了校核并提高精度，一般要求进行往返丈量。取平均值作为结果，量距精度以往测与返测距离值的差数与平均值之比表示。在平坦地区应达到 $\frac{1}{3000}$ ，在起伏变化较大地区要求到 $\frac{1}{2000}$ ，在丈量困难地区不得大于 $\frac{1}{1000}$ 。

二、精密量距

1. 测距方法

先用经纬仪进行直线方向,清除视线上的障碍,然后沿视线方向按每整尺段(即钢尺检定时整长)设置传距桩。最好在桩顶面钉上白铁片,并画出十字线的标记。所使用的钢尺在开始量距前应打开,使与空气接触,经10min后方可进行量距。前尺以弹簧秤施加与钢尺检定时相同的拉力,后尺则以厘米分划线对准桩顶标志,当钢尺达到稳定时,前尺对好桩顶标志,随即读数;随后后尺移动1~2cm分划线重新对准桩顶标志,再次读数;一般要求读出三组读数。读数时应估读到0.1~0.5mm,每次读数较差为0.5~1mm。读数时应同时测定温度,温度计最好绑在钢尺上,以便反映出钢尺量距时的实际温度。

2. 零尺段的丈量

按整尺段丈量距离,当量至另一端点时,必剩一零尺段。零尺段的长度最好采用经过检定的专门用于丈量零尺段的补尺来量度。如无条件,可按整尺长度沿视线方向将尺的一端延长,对钢尺所施拉力仍与检定时相同,然后按上述方法读出零尺段的读数。但由于钢尺刻度不均匀误差的影响,用这种方法测量不足整尺长度的零段距离,其精度有所降低,但对全段距离的影响是有限的。

3. 量距精度

当全段距离量完之后,尺端要调头,读数员互换,按同法进行返测,往返丈量一次为一测回,一般应测是二测回以上。量距精度以两测回的差数与距离之比表示。使用普通钢尺进行精密量距,其相对误差一般可达 $\frac{1}{50000}$ 以上。

三、精密量距的几项改正数

1. 钢尺尺长改正数的理论公式

用钢尺测量空间两点间的距离时,因钢尺本身有尺长误差(或刻划误差),在两点之间测量的长度不等于实际长度,此外因钢卷尺在两点之间无支托,使尺下挠引起垂曲误差,为使下挠垂曲小一些,需对钢尺施加一定的拉力,此拉力又势必使钢尺产生弹性变形,在尺端两桩高差为零的情况下,可列出钢尺尺长改正数理论公式的一般形式为:

$$\Delta L_i = \Delta C_i + \Delta P_i - \Delta S_i \quad (1)$$

式中 ΔL_i ——零尺段尺长改正数;

ΔC_i ——零尺段尺长误差(或刻划误差);

ΔS_i ——钢尺尺长垂曲改正数。

钢尺尺长误差改正公式:

钢尺上的刻划和注字,表示钢尺名义长度,由于钢尺制造设备、工艺流程和控制技术的影响,会有尺长误差;为了保证量距的精度,应对钢尺作检定,求出尺长误差的改正数。

检定钢尺长度(水平状态)系在野外钢尺基线场标准长度上,每隔5m设一托桩,以比长方法,施以一定的检定压力,检定0~30m或0~50m刻划间的长度,由此可按通用公式计算出尺长误差的改正数:

$$\Delta L_{\text{平检}} = L_{\text{基}} - L_{\text{量}} \quad (2)$$

式中 $\Delta L_{\text{平检}}$ ——钢尺水平状态检定拉力 P_0 、20℃时的尺长误差改正数；

$L_{\text{基}}$ ——比尺长基线长度；

$L_{\text{量}}$ ——钢尺量得的名义长度。

当钢尺尺长误差分布均匀或系统误差时，钢尺尺长误差与长度成比例关系，则零尺段尺长误差的改正公式为：

$$\Delta C_i = \frac{L_i}{L} \cdot \Delta L_{\text{平检}}$$

式中 ΔC_i ——零尺段尺长误差改正数；

L_i ——零尺段长度；

L ——整尺段长度。

要求得尺长改正数亦可送有资质的单位去作检定。

2. 温度改正

钢尺的长度是随温度而变化的。钢的线胀系数 α 一般为 0.0000116 ~ 0.0000125，为了简化计算工作，取 $\alpha = 0.000012$ 。若量距时的温度 t 不等于钢尺检定时标准温度 t_0 (t_0 一般为 20℃)，则每一整尺段 L 的温度改正数 ΔL_t 按下式计算

$$\Delta L_t = \alpha (t - t_0) L \quad (3)$$

3. 倾斜改正 (高差改正)

设沿倾斜地面量得 A、B 两点之距离为 L (图 1-1)，A、B 两点之间的高差为 h ，为了将倾斜距离 L 改算为水平距 L_0 ，需要求出倾斜改正数 ΔL_h 。

$$\Delta L_h = L_0 - L = \frac{h^2}{2L} - \frac{h^4}{8L^3} \quad (4)$$

对上式一般只取用第一项，即可满足要求。如高差较大，所量斜距较短，则须计算第二项改正数。上式第

二项为 $\frac{h^4}{8L^3} = \frac{(\frac{h^2}{2L})^2}{2L}$ 。故求得第一项数值后将其平方再除以 $2L$ ，即得第二项的绝对值。

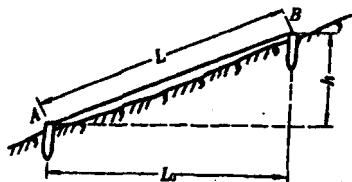


图 1-1 斜距改正示意

4. 垂曲改正

如果钢尺在检定时，尺间按一定距离设有水平托桩，或沿水平地面丈量，而在实际作业时不能按此条件量距，须悬空丈量，钢尺必然下垂，此时对所量距离必须进行垂曲改正。

垂曲改正数按下式计算：

$$\Delta l = \frac{W^2 \cdot L^3}{24 \cdot P^2} \quad (5)$$

式中 W ——钢尺每米重力 (N/m)；

L ——尺段两端间的距离 (m)；

P ——拉力 (N)。

例如： $L = 28\text{m}$ ， $W = 0.19\text{N/m}$ ， $P = 100\text{N}$

代入上式, 则

$$\Delta l = \frac{0.19^2 \times 28^3}{24 \times 100^2} = -3.3\text{mm}$$

5. 拉力改正

钢尺长度在拉力作用下有微小的伸长, 用它测量距离时, 读得的“假读数”必然小于真实读数, 所以应在“假读数”上加拉力改正数, 此改正数可用材料力学中虎克定律算出, 而在弹性限度内, 钢尺的弹性伸长与拉力的关系式为:

$$\Delta P_i = \frac{PL_i}{E \cdot F} \quad (6)$$

因钢尺尺长误差的改正数, 已含有 P_0 拉力的弹性伸长, 则上式改为:

$$\Delta P_i = \frac{L_i}{E \cdot F} (P - P_0)$$

令

$$G = \frac{1}{E \cdot F}$$

$$\Delta P_i = G \cdot L_i \cdot (P - P_0) \quad (7)$$

式中 P ——测量时的拉力;

P_0 ——检定时拉力;

L_i ——零尺段长度;

G ——钢尺延伸系数。

通常, 在实际量距离时所使用的拉力, 总是等于钢尺检定时所使用的拉力, 因而不需进行拉力改正。

6. 钢尺尺长方程式及其改正数表的编制和算例

对于悬空状态下尺长方程式:

$$\begin{aligned} (1) \quad L_i &= L_i + \Delta L_i + \alpha L_i \cdot (t - t_0) \\ &= L_i + \Delta C_i + \Delta P_i - \Delta S_i + \alpha L_i \cdot (t - t_0) \\ &= L_i + \frac{L_i}{L} \Delta L_{\text{平检}} + \frac{L_i}{E \cdot F} (P - P_0) - \frac{W^2 \cdot L_i^3}{24 P^2} + \alpha L_i (t - t_0) \\ (2) \quad L_i &= L_i + \Delta C_i + \Delta P_i - \Delta S_i + \alpha L_i \cdot (t - t_0) \\ &= L_i + \frac{L_i}{L} \cdot \left(\Delta L_{\text{悬检}} + \frac{P_0 \cdot L}{E \cdot F} - \frac{W^2 \cdot L^3}{24 P^2} \right) + \frac{P \cdot L_i}{E \cdot F} - \frac{W^2 \cdot L_i^3}{24 P^2} + \alpha L_i (t - t_0) \end{aligned} \quad (8)$$

对于水平状态下尺长方程式:

$$\begin{aligned} (1) \quad L_i &= L_i + \Delta C_1 + \Delta P_1 + \alpha L_i \cdot (t - t_0) \\ &= L_i + \frac{L_i}{L} \Delta L_{\text{平检}} + \frac{L_i}{E \cdot F} (P - P_0) - \frac{W^2 \cdot L_i^3}{24 P^2} + \alpha L_i (t - t_0) \\ (2) \quad L_i &= L_i + \Delta C_1 + \Delta P_1 + \alpha L_i \cdot (t - t_0) \\ &= L_i + \frac{L_i}{L} \cdot \left[\Delta L_{\text{悬检}} - \left(\frac{P_0 \cdot L}{E \cdot F} - \frac{W^2 \cdot L^3}{24 P^2} \right) \right] + \frac{P \cdot L_i}{E \cdot F} + \alpha L_i (t - t_0) \end{aligned} \quad (9)$$

由式 (8)、式 (9) 可知, 当拉力跨距和钢尺各技术参数如 W 、 F 、 E 、 α 等为已知

时, 则可按上述理论公式求得相应的改正数, 再取各项改正数的和计算, 即得钢尺任意状态下尺长的实际长度。

应当指出, 材质不同的钢尺寸, 其弹性模数也不相同, 从不同钢材的弹性模数和截面积计算出延伸系数。

目前 JIS 一级钢卷尺的各项技术参数列于表 1-1。

表 1-1

钢 尺 技 术 参 数

种类	厚×宽 (mm×mm)	截面积 F (mm ²)	单位重量 W (g/m)	延伸系数 G (1m、10N) (mm)	弹性模数 E ($\times 10^5 \text{N/mm}^2$)	膨胀系数 α ($\times 10^{-6}/^\circ\text{C}$)
可底伦卷尺	* 0.13×10	* 1.27±1%	* 14.6±1%	0.037	2.10	11.5
宽面卷尺	* 0.19×13	* 2.52±1%	* 26.04±1%	0.019	2.10	11.5
韧性卷尺	* 0.3×6	* 1.75±2.5%	* 16.41±1%	0.027	2.10	11.5
银白卷尺	* 0.19×13	* 2.52±1%	* 19.8±1.5%	0.019	2.07	11.5
普通钢带卷尺	0.22×13	2.80±2.5%	21.8±2.5%	0.017	2.11	11.5
不锈钢卷尺	0.22×13	2.83±2%	2.22±2%	0.019	1.86	14.0
普通钢卷尺	0.25×15	3.38±1%	26.4±1%	0.014	2.11	11.5
不锈钢带卷尺	0.25×15	3.70±2%	27.6±2%	0.145	1.86	14.0
韧性不锈钢卷尺	0.3×6	1.82±2.5%	13.7±2.5%	0.0295	1.86	14.0
韧性碳钢卷尺	0.3×6	1.75±2.5%	13.7±2.5%	0.027	2.11	11.5

注: 带有 * 号的卷尺, 其断面积不包括外面的尼龙涂层 (是芯钢材实际尺寸), 重量包括外面涂层与尼龙。

为了使用方便, 我们编制了钢尺悬空和水平状态下尺长改正数表和温度改正数用表。为便于比较, 我们编制本表依据是机械工业建厂测量手册中国产 30m 地球版钢卷尺, 尺端施用 $P_0 = 100\text{N}$ 拉力, 尺身悬空无托桩, 悬空检定整尺段钢尺 $\Delta l_{\text{悬检}}$ 为 8.64mm。

地球牌钢卷尺技术参数: $F = 1.8\text{mm}^2$; $\omega = 15.6\text{g/m}$; $E = 20000\text{kgf/mm}^2$; $G = 0.028\text{mm}$ 。理论公式采用式 (9), 改正用表见表 1-2~表 1-7。

根据公式绘制一曲线, 见图 1-2。横轴线为不同长度 l_i , 纵轴为拉力 P_i , 使用时以长度 l_i 为引数, 即可求得相应的拉力 P_i , 及其相应的尺长改正数 Δl_i 。

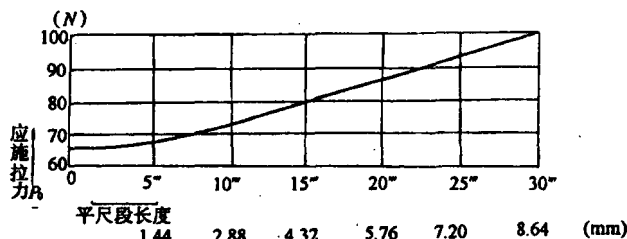


图 1-2 钢卷尺不同长度与拉力关系曲线

第一章 建筑施工测量的基本工作

表 1-2

Δt 改正数 (mm)

尺长 (m)	-10℃	-5℃	0℃ (40℃)	5℃ (35℃)	10℃ (30℃)	15℃ (25℃)	20℃
0~5	-1.7	-1.4	-1.2	-0.9	-0.6	-0.3	0
0~10	3.5	2.9	2.3	1.7	1.2	-0.6	0
0~15	5.2	4.3	3.5	2.6	1.7	0.9	0
0~20	6.9	5.8	4.6	3.5	2.3	1.2	0
0~25	8.6	7.2	5.8	4.3	2.9	1.4	0
0~30	10.4	8.6	6.9	5.2	3.5	1.7	0

表 1-3 ΔC 改正数(mm)

0kg
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0

表 1-4

ΔP 改正数 (mm)

尺长 (m)	5kg	6kg	8kg	8kg	9kg	10kg	11kg	12kg	13kg	14kg	15kg
0~5	0.7	0.8	1.0	1.1	1.2	1.4	1.5	1.7	1.8	1.9	2.1
0~10	1.4	1.7	1.9	2.2	2.5	2.8	3.0	3.3	3.6	3.9	4.2
0~15	2.1	2.5	2.9	3.3	3.7	4.2	4.6	5.0	5.4	5.8	6.2
0~20	2.8	3.3	3.9	4.4	5.0	5.6	6.1	6.7	7.2	7.8	8.3
0~25	3.5	4.2	4.9	5.6	6.2	6.9	7.6	8.3	9.0	9.7	10.4
0~30	4.2	5.0	5.8	6.7	7.5	8.3	9.2	10.0	10.8	11.7	12.6

表 1-5

ΔS 改正数 (mm)

0~5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0~10	0.4	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0	0
0~15	1.4	1.0	0.7	0.5	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
0~20	3.2	2.2	1.6	1.3	1.0	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.4
0~25	6.3	4.4	3.2	2.5	2.0	1.6	1.3	1.1	0.9	0.8	0.7
0~30	10.9	7.6	5.6	4.3	3.4	2.7	2.3	1.9	1.6	1.4	1.2

表 1-6

$\Delta C + \Delta P - \Delta S$ 改正数 (悬空) (mm)

0~5	1.2	2.3	2.5	2.6	2.7	2.9	3.0	3.2	3.3	3.4	3.6
0~10	2.0	2.4	2.7	3.0	3.4	3.7	3.9	4.2	4.6	4.9	5.2
0~15	2.2	3.0	3.7	4.3	4.8	5.4	5.8	6.3	6.8	7.1	7.5
0~20	1.6	3.1	4.3	5.1	6.0	6.8	7.4	8.1	8.7	9.4	9.9
0~25	-0.3	2.3	3.2	5.6	6.7	7.8	8.8	9.7	10.6	11.4	12.2
0~30	-3.7	0.4	3.2	5.4	7.1	8.6	9.9	11.1	12.2	13.3	14.4

表 1-7

 $\Delta C + \Delta P$ 改正数 (水平) (mm)

0~5	1.2	1.3	1.5	1.6	1.7	1.9	2.0	2.2	2.3	2.4	2.6
0~10	2.4	2.7	2.9	3.2	3.5	3.8	4.0	4.3	4.6	4.9	5.2
0~15	3.6	4.0	4.4	4.8	5.2	5.7	6.1	6.5	6.9	7.3	7.7
0~20	4.8	5.3	5.9	6.4	7.0	7.6	8.1	8.7	9.2	9.8	10.3
0~25	6.0	6.7	7.3	8.1	8.7	9.4	10.1	10.8	11.2	12.2	12.9
0~30	7.2	8.0	8.8	9.7	10.5	11.3	12.2	13.0	13.8	14.7	15.5

【例 1】 计算 30m 地球牌钢卷尺检定拉力为 $P_0 = 100\text{N}$, 丈量施以 $P_i = 150\text{N}$ 时的尺长改正数 (悬空)。由表 1-3、表 1-4、表 1-5 查得:

$$\Delta C = 3.0\text{mm}; \Delta P = 12.6\text{mm}; \Delta S = 1.2\text{mm}$$

$$\Delta l = \Delta C + \Delta P - \Delta S = 3.0 + 12.6 - 1.2 = 14.4\text{mm}$$

由表 1-6 直接查得: $L_i = 30\text{m}$ 时的 $\Delta l = 14.4\text{mm}$ 。

【例 2】 计算在 10m 零尺段施以整尺段拉力的尺长改正数 (悬空) 由表 1-3、表 1-4、表 1-5 查得:

$$\Delta C = 1.0\text{mm}; \Delta P = 2.8\text{mm}; \Delta S = 0.1\text{mm}$$

$$\Delta l = \Delta C + \Delta P - \Delta S = 1.0 + 2.8 - 0.1 = 3.7\text{mm}$$

由表 1-6 直接查得 $L = 10\text{m}$ 时的 $\Delta l_i = 3.7\text{mm}$ 。

【例 3】 计算零尺段 $l_i = 15\text{m}$ 的特定拉力和尺长改正数 (悬空)。

方法一 由曲线图以 15m 为引数查得应施加特定拉力 $P_i = 80\text{N}$, 相应的尺长改正数由图下方查得 $\Delta l = 4.32\text{mm}$ 。

方法二 由实验公式计算施加拉力及尺长改正数为:

$$P_i = [0.133 \times 15 + 6 (\text{kg})] \times 10\text{N} \approx 80\text{N}$$

$$\Delta l_i = \frac{l_i}{l} \Delta l_{\text{悬检}} = \frac{15}{30} \times 8.64 = 4.32\text{mm}$$

7. 钢尺尺长方程式的精度估算

(1) 悬空状态下尺长方程式的精度估算

依据误差传播定律, 精度估算公式为:

$$mL_i = \pm \sqrt{m_{\Delta C_i}^2 + m_{\Delta P_i}^2 + m_{\Delta S_i}^2 + m_{\Delta t_i}^2} \quad (10)$$

经整理得

$$mL_i = \pm \sqrt{\left(\frac{l_i}{l} m_{\Delta l_{\text{平检}}}\right)^2 + \Delta P_i^2 \left[\frac{m_{(P-P_0)}}{(P-P_0)}\right]^2 + \left(\frac{m_F}{F}\right)^2} + (2\Delta S_i)^2 \left[\left(\frac{m_P}{P}\right)^2 + \left(\frac{m_W}{W}\right)^2\right] + (\alpha m_t)^2}$$

$$\text{令} \quad \frac{m_p - p_0}{(P - P_0)} = \frac{m_P}{P} = \frac{m_F}{F} = \frac{m_W}{W} = \frac{m}{N}$$

上述公式可改写为:

$$mL_i = \pm \sqrt{\left(\frac{l_i}{l} m \Delta l_{\text{平检}}\right)^2 + 2 \Delta P_i^2 \left(\frac{m}{N}\right)^2 + 8 \Delta S_i^2 \left(\frac{m}{N}\right)^2 + (alm_i)^2} \quad (11)$$

当 $P = P_0$ 时

$$mL_i = \pm \sqrt{\left(\frac{l_i}{l} m \Delta l_{\text{平检}}\right)^2 + 8 \Delta S_i^2 \left(\frac{m}{N}\right)^2 + (alm_i)^2} \quad (12)$$

当 $\Delta P_i - \Delta S_i = 0$ 时

$$mL_i = \pm \left(\frac{l_i}{l} m \Delta l_{\text{平检}}\right)^2 - (alm_i)^2 \quad (13)$$

式 (10)、式 (11) 或等号第一项为钢尺尺长度误差改正数中误差 (检定); 第二项为钢尺拉力改正数中误差; 第三项为钢尺垂曲改正数中误差; 第四项为钢尺温度改正数中误差。

式 (12) 和式 (13) 含意类同前述。

(2) 水平状态尺长方程式的精度估算

同理, 对式 (10) 的精度估算公式为

$$mL_i = \pm \sqrt{m_{\Delta c_i}^2 + m_{\Delta p_i}^2 + m_{\Delta s_i}^2} \quad (14)$$

$$\text{或写成:} \quad mL_i = \pm \sqrt{\left(\frac{l_i}{l} m \Delta l_{\text{平检}}\right)^2 + 2 \Delta P_i^2 \left(\frac{m}{N}\right)^2 + (alm_i)^2} \quad (15)$$

当 $P = P_0$ 时

$$mL_i = \pm \sqrt{\left(\frac{l_i}{l} m \Delta l_{\text{平检}}\right)^2 - (alm_i)^2} \quad (16)$$

式 (15) 式 (16) 符号意义类同前述。

由式 (11) 或 (13) 可知, 当 $m \Delta l_{\text{平检}}$ 、 m_i 及 $\frac{m}{N}$ 精度一定时, $m \Delta P_i$ 对 mL_i 的影响将随 l_i 、 P_i 及其 ΔP_i 的增大而增加; $m \Delta S_i$ 对 mL_i 的影响却随 l_i 、 P_i 的增大而削弱, 可见 $m \Delta P_i$ 和 $m \Delta S_i$ 对 mL_i 的影响是互相制约的。欲使 $m \Delta P_i$ 对 mL_i 的影响削弱, 又使 $m \Delta S_i$ 对 mL_i 的影响减小, $P - P_0$ 的差数不宜过大: 当 $P = P_0$ 时或趋近 P_0 时, $m \Delta P_i$ 对 mL_i 影响也趋近于零; 当取其 $\Delta P_i - \Delta S_i = 0$ 时, 可获最佳精度。

由式 (5)、式 (6) 可知, $m \Delta P_i$ 直接对 mL_i 的影响, 随 l_i 、 P_i 的增大而增加, 当取 $P = P_0$ 时, 可获最佳精度。

为了进一步验证理论公式, 我们选用了日制 JIS 一级钢卷尺作拟合精度试验, 现将部分试验结果列于表 1-8。