

建筑施工测量手册

吴来瑞 邓学才 编著

中国建筑工业出版社

(京)新登字 035 号

图书在版编目(CIP)数据

建筑施工测量手册/吴来瑞,邓学才编. —北京:中国建筑工业出版社,1997
ISBN 7-112-03297-0

I. 建… II. ①吴… ②邓… III. 建筑测量—手册 IV. TU198—62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 10570 号

本书是介绍建筑施工测量技术的工具书。全书共计 11 章内容。书中介绍了建筑施工测量的任务、作用及程序;建筑施工测量的基本工作;建筑施工测量控制网的建立;工业建筑施工测量;民用建筑施工测量;高层建筑施工测量;建筑物沉降与变形观测;特殊工程的施工测量;测量仪器的检验与校正;施工测量中的新设备、新技术;竣工总平面图的编绘。

该书特点是简明、扼要、实用性强。书中并附有丰富的实例。

本书可供建筑工程测量人员、放线工、工长等使用,也可供大专院校有关专业师生参考。

* * *

责任编辑 余永祯
责任设计 刘玉英
责任校对 孙 梅

建筑施工测量手册

吴来瑞 邓学才 编著

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

新华书店经销

北京彩桥印刷厂印刷

*

开本:787×1092 毫米 1/16 印张:15¼ 字数:390 千字

1997 年 10 月第一版 1997 年 10 月第一次印刷

印数:1—3,500 册 定价:27.00 元

ISBN7-112-03297-0

TU. 2539(8442)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题,可寄本社退换

(邮政编码 100037)

前 言

这本介绍建筑施工测量技术的工具书,是为工程测量人员全面掌握本领域的实用知识而编写的。手册中编入了许多从工程实践中总结的实例,具有广泛的参考价值。

手册共分十一章,全稿内容曾请同济大学测量系教师进行修改及补充,谨致以深切的谢意。

手册内容理论联系实际,实例丰富,便于工程测量人员参考使用。现代科学技术发展很快,编者的经验水平有限,有关电脑技术在工程测量中的应用尚待深入后再作介绍。书中存在的缺点与错误,敬请读者批评指正。

参加本手册编写的工作人员还有:徐云峰、金振岐、陆琴、杨峰、吴永华。

目 录

前言	
1 概述	1
1-1 建筑施工测量的任务及作用	1
1-2 地面上点位的确定	1
1-3 测量工作程序	2
2 建筑施工测量的基本工作	3
2-1 距离测量	3
2-1-1 普通量距	3
2-1-2 精密量距	3
2-1-3 精密量距的几项改正数	4
2-2 已知角度的测设	10
2-3 建筑物细部点的平面位置的测设	11
2-3-1 直角坐标法	11
2-3-2 极坐标法	11
2-3-3 角度前方交会法	13
2-3-4 方向线交会法	13
2-3-5 距离交会法	14
2-3-6 正倒镜投点法	14
2-4 建筑物细部点高程位置的测设	15
2-4-1 地面上点的高程测设	15
2-4-2 高程传递	15
2-5 倾斜线的测设	16
3 建筑施工测量控制网的建立	17
3-1 坐标系统及坐标换算	17
3-1-1 坐标系统	17
3-1-2 坐标换算	17
3-2 建筑方格网和主轴线设计	18
3-2-1 建筑方格网设计	18
3-2-2 主轴线设计	19
3-3 主轴线的测设	20
3-3-1 主轴线点初步位置的测定方法及实地标定	20
3-3-2 主轴线点精确位置的测定和主轴线方向调整	20
3-3-3 主轴线长度的精密丈量及主轴线点坐标的确定	21
3-3-4 短轴线的测设	21
3-3-5 轴线的加密	22
3-3-6 注意事项	22
3-4 建筑方格网的测设	23
3-4-1 建筑方格网的测设方法	23
3-4-2 建筑施工方格网的加密和最后检查	25
3-4-3 水平角观测方法和技术要求	26
3-4-4 边长测量方法及技术要求	26
3-4-5 方格网平差计算	27
3-5 用小三角测量法建立施工平面控制网	31
3-5-1 小三角测量等级与三角网的布设	31
3-5-2 小三角测量的步骤	31
3-6 用导线测量法建立施工平面控制网	33
3-6-1 导线测量的等级与导线网的布设	33
3-6-2 导线测量的步骤	33
3-6-3 导线法与轴线法联合测设施工控制网	34
3-7 高程控制测量	34
3-7-1 水准测量的基本原理	34
3-7-2 水准测量的方法和记录	35
3-7-3 水准测量的容许误差及校核方法	40
3-7-4 厂区高程控制测量的一般规定	42
3-7-5 三、四等水准测量的要求和方法	43
3-7-6 水准网的平差计算	45
3-8 标桩的埋设	47
3-8-1 平面控制点标桩	47
3-8-2 水准点标桩	47

4 工业建筑的施工测量	50	设置与沉降观测	91
4-1 厂房控制网的建立	50	5 民用建筑的施工测量	93
4-1-1 厂房控制网的建立方法	50	5-1 民用建筑主轴线的测量	93
4-1-2 厂房扩建与改建时的控制 测量	51	5-2 房屋定位测量	94
4-1-3 工业建筑物放样的概念	51	5-3 房屋基础施工测量	95
4-1-4 工业建筑物放样的精度 标准	52	5-4 墙身皮数杆的设置	96
4-2 厂房基础施工测量	55	5-5 多层建筑物施工测量	96
4-2-1 混凝土杯形基础施工测量	55	6 高层建筑施工测量	98
4-2-2 钢柱基础施工测量	56	6-1 高层建筑施工测量的特点及基本 要求	98
4-2-3 混凝土柱子基础及柱身、平台 施工测量	57	6-1-1 高层建筑施工测量的特点	98
4-2-4 设备基础施工测量	59	6-1-2 高层建筑施工测量的基本 要求	98
4-2-5 基础施工与竣工测量的 容差	61	6-2 建立施工控制网	98
4-3 厂房结构安装测量	62	6-2-1 平面控制	98
4-3-1 柱子安装测量	62	6-2-2 高程控制	102
4-3-2 吊车梁安装测量	64	6-3 建(构)筑物主要轴线的定位及 标定	102
4-3-3 吊车轨道安装测量	64	6-3-1 桩位放样	102
4-4 管道工程施工测量	65	6-3-2 建筑物基坑与基础的测定	103
4-4-1 管道工程测量的准备工作	65	6-3-3 建筑物基础上的平面与高程 控制	104
4-4-2 管道中线定位及高程控制 测量	65	6-4 高层建筑中的竖向测量	105
4-4-3 管道中线与纵横断面测量	66	6-4-1 吊线坠法	105
4-4-4 地下管线施工测量	69	6-4-2 激光铅垂仪法	105
4-4-5 架空管线施工测量	70	6-4-3 天顶垂准测量(仰视法)	106
4-4-6 管线竣工测量和竣工图 编绘	71	6-4-4 天底垂准测量(俯视法)	107
4-4-7 沟管线路的土方计算	71	6-5 高层建筑中的变形观测	108
4-5 机械设备安装测量	82	6-5-1 沉桩过程中变形观测	108
4-5-1 安装基准线和基准点的 确定	82	6-5-2 各施工阶段中的变形观测	114
4-5-2 平面安装基准线的设置 形式	82	6-5-3 建筑物全部竣工后的沉降 变形观测	115
4-5-3 中心线与副线的检查	83	7 建筑物沉降与变形观测	116
4-5-4 金属结构安装中的测量 工作	83	7-1 沉降观测水准点的测设	116
4-5-5 万人体育馆等金属网架的安装 测量	85	7-1-1 水准点的布设	116
4-5-6 精密安装测量的方法及 设备	88	7-1-2 水准点的形式与埋设	116
4-5-7 设备安装期间设备标高基准点		7-1-3 沉降观测水准点的高程 测定	116
		7-1-4 观测点的布置和要求	116
		7-1-5 观测点的形式与埋设	117
		7-2 建筑物的沉降观测	119
		7-2-1 沉降观测的方法和一般	

规定	119	方程式	199
7-2-2 沉降观测的精度及成果 整理	120	8-6-2 双曲线形平面曲线的作图 方法	201
7-3 沉降观测中常遇到的问题及其 处理	121	8-6-3 双曲线平面图形的施工 放线	202
7-3-1 曲线在首次观测后即发生回升 现象	121	9 测量仪器的检验和校正	209
7-3-2 曲线在中间某点突然回升	121	9-1 经纬仪的检验和校正	209
7-3-3 曲线自某点起渐渐回升	121	9-1-1 经纬仪应满足的条件	209
7-3-4 曲线的波浪起伏现象	121	9-1-2 经纬仪的检验与校正	209
7-3-5 曲线中断现象	122	9-2 水准仪的检验与校正	211
7-4 建筑物变形与裂缝观测	122	9-2-1 普通水准仪的检验与校正	211
7-4-1 倾斜观测	122	9-2-2 精密水准仪的检验与校正	212
7-4-2 裂缝观测	123	9-3 钢尺的检定	213
7-4-3 位移观测	124	9-3-1 钢尺检定的方法	213
7-4-4 用三角高程测量法测定建筑物 的沉降	124	9-3-2 尺方程式及其简化	214
7-4-5 用基准线法测定建筑物的水平 位移	126	9-3-3 标准基线的建立	215
7-4-6 用前方交会法测定建筑物的 水平位移	127	9-3-4 钢尺使用时注意事项	215
7-4-7 用后方交会法测定建筑物的 水平位移	128	10 施工测量中的新设备、新技术	216
8 特殊工程的施工测量	133	10-1 激光经纬仪	216
8-1 钢结构工程中的施工测量	133	10-1-1 激光经纬仪的构造	216
8-2 电视塔施工中的施工测量	134	10-1-2 激光经纬仪的操作方法	216
8-3 上海电视塔(东方明珠)施工测量 实例	135	10-1-3 激光经纬仪的特点和应用	216
8-4 圆弧平面图形的施工测量	141	10-2 激光水准仪	218
8-4-1 圆弧形平面曲线的数学方 程式	144	10-2-1 激光水准仪的构造	218
8-4-2 圆弧形平面曲线图形的现场 施工放线	147	10-2-2 激光水准仪的操作方法	218
8-4-3 圆弧形楼梯的施工放线	179	10-2-3 激光水准仪的用途	218
8-5 椭圆形平面图形的施工测量	187	10-3 光电测距仪	219
8-5-1 椭圆形平面曲线的数学方 程式	187	10-3-1 光电测距仪的概况	219
8-5-2 椭圆形平面曲线的作图 方法	190	10-3-2 光电测距仪的构造	219
8-5-3 椭圆形平面曲线的施工 放线	193	10-3-3 光电测距仪的用途	220
8-6 双曲线形平面图形的施工测量	199	10-3-4 光电测距仪的检验与校正	220
8-6-1 双曲线形平面曲线的数学 方程式	199	11 竣工总平面图的编绘	222
8-6-2 双曲线形平面曲线的作图 方法	201	11-1 编绘竣工总平面图的意义	222
8-6-3 双曲线平面图形的施工 放线	202	11-2 编绘竣工总平面图的方法和 步骤	222
9 测量仪器的检验和校正	209	11-2-1 绘制前准备	222
9-1 经纬仪的检验和校正	209	11-2-2 竣工总平面图的编绘	222
9-1-1 经纬仪应满足的条件	209	11-3 编绘竣工总平面图时的现场实测 工作	223
9-1-2 经纬仪的检验与校正	209	11-4 竣工总平面图最终绘制	223
9-2 水准仪的检验与校正	211	11-4-1 分类竣工总平面图的编制	223
9-2-1 普通水准仪的检验与校正	211	11-4-2 综合竣工总平面图	224
9-2-2 精密水准仪的检验与校正	212		
9-3 钢尺的检定	213		
9-3-1 钢尺检定的方法	213		
9-3-2 尺方程式及其简化	214		
9-3-3 标准基线的建立	215		
9-3-4 钢尺使用时注意事项	215		
10 施工测量中的新设备、新技术	216		
10-1 激光经纬仪	216		
10-1-1 激光经纬仪的构造	216		
10-1-2 激光经纬仪的操作方法	216		
10-1-3 激光经纬仪的特点和应用	216		
10-2 激光水准仪	218		
10-2-1 激光水准仪的构造	218		
10-2-2 激光水准仪的操作方法	218		
10-2-3 激光水准仪的用途	218		
10-3 光电测距仪	219		
10-3-1 光电测距仪的概况	219		
10-3-2 光电测距仪的构造	219		
10-3-3 光电测距仪的用途	220		
10-3-4 光电测距仪的检验与校正	220		
11 竣工总平面图的编绘	222		
11-1 编绘竣工总平面图的意义	222		
11-2 编绘竣工总平面图的方法和 步骤	222		
11-2-1 绘制前准备	222		
11-2-2 竣工总平面图的编绘	222		
11-3 编绘竣工总平面图时的现场实测 工作	223		
11-4 竣工总平面图最终绘制	223		
11-4-1 分类竣工总平面图的编制	223		
11-4-2 综合竣工总平面图	224		

11-4-3 随工程的竣工相继进行 编绘.....	224	及生产厂一览表	225
11-4-4 竣工总平面图的图面内容和 图例.....	224	附录 2 国产几种类型水准仪名称、规格 及生产厂一览表	226
11-5 竣工总平面图的附件	224	附录 3 几种进口仪器名称、规格及生产厂 一览表	227
附录	225	附录 4 测量常用计量单位换算	227
附录 1 国产几种类型经纬仪名称、规格		附录 5 三角函数表	230
		参考书目	236

1 概 述

1-1 建筑施工测量的任务及作用

建筑施工测量,是研究利用各种测量仪器和工具,对建筑场地上地面点的位置进行度量和测定的科学。它的主要任务是:

1. 对建筑施工场地的地表面形状和尺寸按一定比例测绘成地形图。
2. 将图纸上已设计好的工程建筑物按设计要求测设到地面上,并用各种标志表示在现场。

完成这些任务,需要熟悉各种主要测量仪器及工具的构造和使用,掌握测量的基本原理和在建筑施工中的各种测量方法。

在国民经济建设中,完成一项建设任务需要经过勘测、设计、施工等几个步骤。测绘各种比例的地形图,为规划和设计作依据,是勘测工作的一项主要任务。

施工前需要把图纸上设计的建筑物测设到现场,在施工过程中需要借助各种测量工作,保证施工质量符合设计要求。竣工以后为扩建和改建提供可靠资料需作竣工测量。因此在整个建筑工程中,测量工作是不可缺少的。建筑施工测量的速度和质量,对社会主义建设有直接影响,所以建筑施工测量在国家建设中有着重要的作用。

1-2 地面上点位的确定

测量工作的本质就是确定地面上点的高低位置和平面位置。

1. 地面点的高低位置

由于地表面高低不平,为了在地面上修建建筑物,需要测定一些点的高低位置。点到大地水准面的铅直距离,称为该点的“绝对高程”。

大地水准面是指平均静止的海水面,将其延伸穿过陆地形成一个闭合曲面。我国规定以黄海的平均海水面作为大地水准面。

图 1-1 中,地面上 A、B 两点的绝对高程,就是沿各自的铅垂线方向到大地水准面的距离,用 H_A 和 H_B 表示。

在建筑工程中,有时也采用假定的水准面,作为高程的起算面。一个点到假定水准面的铅垂距离叫该点的假定高程或相对高程。

H_A 和 H_B 可以用测量仪器和工具,在地面上测量和计算出来。如果在设计图纸上已给出一点的高程,也可以用测量方法,将该点按已给的高程,测设于实地。

2. 地面点的平面位置

地球的形状是一个扁平的椭圆柱体,可近似地视为一个半径等于 6378km 的圆球。对半

径如此之大的圆球表面,如果测量的面积较小(半径小于 10km),可以把这块地表面视为与测区中心的铅垂线相垂直的平面。在这块地面上的点,如图 1-2 中, A 、 B 、 C 沿各自的铅垂线方向投影到平面上,得点 a 、 b 、 c ,就是 A 、 B 、 C 的平面位置, $\angle abc$ 则是 $\angle ABC$ 的水平角, ba 和 bc 的距离,则为 BA 和 BC 的水平距离。

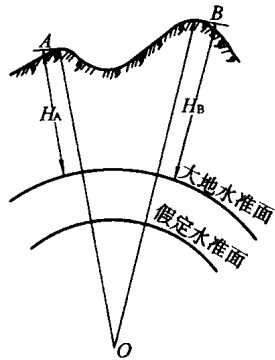


图 1-1 地面上 A、B 两点的绝对高程

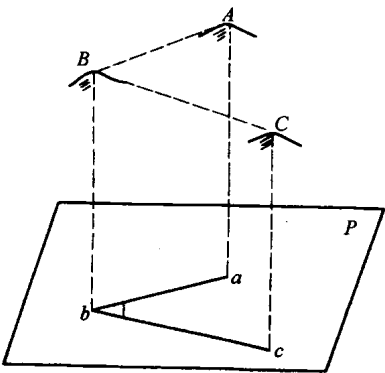


图 1-2 A、B、C 三点在平面上投影

在地面上把 $\angle ABC$ 的水平角和 BA 、 BC 的水平距离测量出来, A 、 B 、 C 三点在平面上的相互位置就确定了。同理,我们也能用仪器和工具测设水平角度和水平距离,将图纸上已设计好的建筑物有关点的平面位置,测设到地面上去。因此确定地面上点的平面位置,主要决定于水平角测量和水平距离丈量。

综上所述,可见高程测量、水平角测量和水平距离丈量,是测量的三项基本工作。这三项基本工作的质量(精度)高低,对整个基本建设工作影响很大,工作中出现差错,会给国家带来损失。所以在进行这三项基本工作时,一定要有高度认真负责的精神。

1-3 测量工作程序

在测绘地形图或建筑物施工放样时,都本着先整体、后局部的原则,首先在测区范围内,选择若干点组成控制网,用较精确的测量和计算方法,确定出这些点的平面位置和高程,然后以这些点为依据再进行局部地区的测绘工作和放样工作,这样做有两个优点:

- 1. 由于控制网的作用,可以保证测区的整体精度。
- 2. 根据控制网,把整个测区划分为若干局部地区,可以展开几个工作面,同时进行施测,可提高工效、缩短工期和节省经费开支。

2 建筑施工测量的基本工作

2-1 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。

2-1-1 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(2-2)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 $\frac{1}{1000}$ 。

2-1-2 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(即钢尺检定时的整长)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先打开,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。

2-1-3 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:

$$\Delta L_i = \Delta C_i + \Delta P_i - \Delta S_i \quad (2-1)$$

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:

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

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执的单位去作检定。

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°C),则每一整尺段 L 的温度改正数 ΔL_t 按下式计算

$$\Delta L_t = \alpha(t - t_0)L \quad (2-3)$$

3. 倾斜改正(高差改正)

设沿倾斜地面量得 A 、 B 两点之间的距离为 L (图 2-1), 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 。

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

对上式一般只取用第一项,即可满足要求。如高差较大,

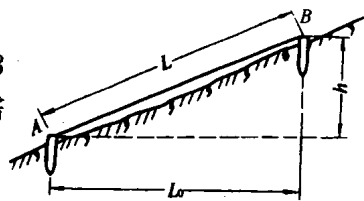


图 2-1 斜距改正示意

所量斜距较短,则须计算第二项改正数。上式第二项为 $\frac{h^4}{8L^3} = \frac{\left(\frac{h^2}{2L}\right)^2}{2L}$ 。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。

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:

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

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:

$$\Delta P_i = \frac{PL_i}{E \cdot F} \quad (2-6)$$

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

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

$$\Delta P_i = G \cdot L_i \cdot (P - P_0) \quad (2-7)$$

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:

(1)

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

(2)

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

对于水平状态下尺长方程式:

(1)

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

(2)

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

由式(2-8)、式(2-9)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,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 2-1。

钢 尺 技 术 参 数					表 2-1	
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 (×10 ⁵ N/mm ²)	膨胀系数 α (×10 ⁻⁶ /℃)
司底伦卷尺	* 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

续表

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 (×10 ⁵ N/mm ²)	膨胀系数 α (×10 ⁻⁶ /℃)
普通钢带卷尺	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 地球牌钢卷尺,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: $F=1.8\text{mm}^2$; $w=15.6\text{g/m}$; $E=20000\text{kgf/mm}^2$; $G=0.028\text{mm}$ 。理论公式采用式(2-9),改正用表见表 2-2~表 2-7。

根据公式绘制一曲线,见图 2-2。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 。

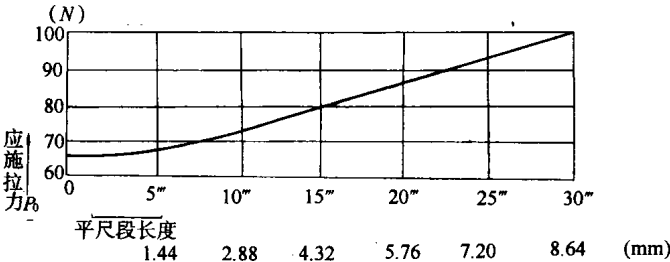


图 2-2 钢卷尺不同长度与拉力关系曲线

Δt 改正数(mm)								表 2-2	ΔC 改正数 (mm) 表 2-3
尺长 (m)	-10℃	-5℃	0℃ (40℃)	5℃ (35℃)	10℃ (30℃)	15℃ (25℃)	20℃		0kg
0~5	-1.7	-1.4	-1.2	-0.9	-0.6	-0.3	0		0.5
0~10	3.5	2.9	2.3	1.7	1.2	-0.6	0		1.0
0~15	5.2	4.3	3.5	2.6	1.7	0.9	0		1.5
0~20	6.9	5.8	4.6	3.5	2.3	1.2	0		2.0
0~25	8.6	7.2	5.8	4.3	2.9	1.4	0		2.5
0~30	10.4	8.6	6.9	5.2	3.5	1.7	0		3.0

ΔP 改正数(mm)

表 2-4

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

ΔS 改正数 (mm)

表 2-5

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

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

表 2-6

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

$\Delta C + \Delta P$ 改正数(水平)(mm)

表 2-7

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 2-3、表 2-4、表 2-5 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 2-6 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 2-3、表 2-4、表 2-5 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 2-6 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:

$$mL_i = \pm \sqrt{m_{\Delta C_i}^2 + m_{\Delta P_i}^2 + m_{\Delta S}^2 + m_{\Delta t}^2} \quad (2-10)$$

经整理得

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

令

$$\frac{m_{P-P_0}}{(P-P_0)} = \frac{m_P}{P} = \frac{m_F}{F} = \frac{m_W}{W} = \frac{m}{N}$$

上述公式可改写为:

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

当 $P = P_0$ 时

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

当 $\Delta P_i - \Delta S_i = 0$ 时

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

式(2-10)、式(2-11)或等号第一项为钢尺尺长误差改正数中误差(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(2-12)和式(2-13)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(2-10)的精度估算公式为:

$$mL_i = \pm \sqrt{m_{\Delta C_i}^2 + m_{\Delta P_i}^2 + m_{\Delta t}^2} \quad (2-14)$$

或写成:

$$mL_i = \pm \sqrt{\left(\frac{l_i}{l} m \Delta l_{\text{平检}}\right)^2 + 2 \Delta P_i^2 \left(\frac{m}{N}\right)^2 + (\alpha l m_t)^2}$$

(2-15)

当 $P - P_0$ 时

$$mL_i = \pm \sqrt{\left(\frac{l_i}{l} m \Delta l_{\text{平检}}\right)^2 + (\alpha l m_t)^2}$$

(2-16)

式(2-15)式(2-16)符号意义类同前述。

由式(2-11)或(2-13)可知,当 $m \Delta l_{\text{平检}}$ 、 m_t 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(2-5)、式(2-6)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 2-8。

理论公式实际拟合精度						表 2-8	
尺号	分段长度 (m)	检定单位	状态	拉力 (N)	尺长改正数或真实长度 (mm)	理论计算 (mm)	较差 (mm)
建 1 号	0~24	上海市	托平	100	+ 3.6	+ 4.0	- 0.4
	0~24		悬空	150	+ 5.8	+ 5.5	+ 0.3
	0~50		托平	150	+ 13.4	+ 12.9	- 0.5
宝 3 号	0~50	上海市勘测院	水平	50	+ 3.0	+ 3.4	- 0.4
	0~50			100	+ 7.7	+ 8.1	- 0.4
冶 45 号	0~50	冶金建筑公司	水平	20	50.0004	50.0005	- 0.1
48 号	0~50				50.0003	50.0006	- 0.3
49 号	0~50				50.0000	49.9990	+ 0.1
51 号	0~50				49.9998	50.0000	- 0.2
52 号	0~50				49.9996	50.0005	+ 0.1
53 号	0~50				49.9998	49.9996	+ 0.2

由表 2-8 可知,理论公式实际拟合精度是相当理想的。零尺段长度上拟合仅差 0.5mm,一段在 0.2mm 左右。上述情况表明,我们在作精密量距时,可直接对尺长改正数或尺长方程式进行计算使用。

2-2 已知角度的测设

测设已知角度时,只给出一个方向,按已知角值,在地面上测定另一方向。如图 2-3, OA 为已知方向,要在 O 点测设 α 角。为此,在 O 点设置经纬仪,以正镜测设 α 值得 B' 。为了消除仪器误差的影响,再以倒镜测设 α 角得 B'' 。取 $B'B''$ 之中得 B_1 ,则 $\angle AOB_1$ 即为所