

SHUDIAN XIANLU CELIANG SHIYONG JISHU

# 输电线路测量 实用技术

申屠柏水 李健 编著



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

SHUDIAN XIANLU CELIANG SHIYONG JISHU

# 输电线路测量 实用技术

申屠柏水 李健 编著



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

## 内 容 提 要

输电线路测量实用技术全书共分三篇，第一篇为线路常规测量，包含测量仪器使用介绍、角度和视距测量计算、线路设计测量、线路施工测量等内容；第二篇为全站仪测量，包含仪器各部件名称与使用、常规（角度、距离、坐标）测量、应用（悬高、对边、点到直线等）测量；第三篇为 GPS 测量，包含 GPS 测量仪结构及设置、GPS 测量方法与步骤，着重介绍相位差分定位技术作业即 RTK 技术模式。全书采用课堂教学与实际应用融合的方式叙述，适合输配电线路员工培训教学和自学使用。

## 图书在版编目（CIP）数据

输电线路测量实用技术 / 申屠柏水，李健编著. —北京：中国电力出版社，2015.8

ISBN 978-7-5123-7914-5

I. ①输… II. ①申… ②李… III. ①输电线路测量 IV. ①TM75

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2015）第 136489 号

中国电力出版社出版、发行

（北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>）

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

\*

2015 年 8 月第一版      2015 年 8 月北京第一次印刷

710 毫米×980 毫米 16 开本 11.25 印张 188 千字

印数 0001—2000 册      定价 40.00 元

## 敬告读者

本书封底贴有防伪标签，刮开涂层可查询真伪

本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

# 前 言

随着测量仪器的不断更新，传统的光学经纬仪测量逐步被全站仪和 GPS 测量仪所替代。虽然测量仪器更新了，但测量原理和方法是相通的。有关线路测量书籍在各专业出版社均有发行，且理论推导计算都很详细，但对现场一线员工学习领会难度较大。本书的出发点立足于现场实际应用，尽量不用或少用繁琐的理论推导计算。全书采用课堂教学与实际应用融合的方式叙述，适合输配电线路员工培训教学和自学使用。

全书共分三篇，第一篇为线路常规测量，包含测量仪器使用介绍、角度和视距测量计算、线路设计测量、线路施工测量等内容。第二篇为全站仪测量，包含仪器各部件名称与使用、常规（角度、距离、坐标）测量、应用（悬高、对边、点到直线等）测量。第三篇为 GPS 测量，包含 GPS 测量仪结构及设置、GPS 测量方法与步骤，着重介绍相位差分定位技术作业即 RTK 技术模式。

由于编者业务技术水平有限，书中疏漏不妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

编者

# 目 录

前言

## 第一篇 线路常规测量

第一章 测量仪器 .....	3
第一节 水准仪 .....	3
第二节 光学经纬仪 .....	8
第三节 经纬仪的架设 .....	16
第二章 基本测量 .....	19
第一节 角度测量 .....	19
第二节 视距测量 .....	21
第三章 线路设计测量 .....	26
第一节 选线 .....	26
第二节 定线测量 .....	27
第三节 平断面测量 .....	31
第四节 河宽、山高测量 .....	36
第五节 杆塔定位测量 .....	41
第四章 线路施工测量 .....	43
第一节 线路复测 .....	43
第二节 杆塔基础坑位测量 .....	45
第三节 拉线基础坑位测量 .....	55
第四节 基础操平与找正 .....	60
第五节 架空线的弧垂计算与观测 .....	64

## 第二篇 全站仪测量

第一章 仪器各部件名称与使用	77
第一节 仪器各部件名称与功能	77
第二节 测量准备	84
第二章 常规测量	90
第一节 角度测量	90
第二节 距离测量	95
第三节 坐标测量	104
第三章 特殊模式（应用测量）	109
第一节 应用测量——悬高测量（REM）	110
第二节 应用测量——对边测量（MLM）	113
第三节 应用测量——设置测站点 Z 坐标	116
第四节 应用测量——点到直线的测量	119
第五节 应用测量——面积计算	122
第六节 有关设置	123

## 第三篇 GPS 测量

第一章 GPS 介绍	139
第一节 概述	139
第二节 GPS 测量仪结构	143
第二章 测量前的准备	144
第一节 仪器的架设	144
第二节 仪器的设置	144
第三章 GPS 测量方法与步骤	150
第一节 GPS 测量设置	150
第二节 GPS 的 RTK 测量	152

第三节	RTK 放样测量	154
第四节	测量数据的存储、导入、导出和下载	156
第五节	影响测量作业的因素	169
参考文献		172

# 第一篇

## 线路常规测量







## 测 量 仪 器

线路中常用的测量仪器有水准仪、光学经纬仪、红外光电测距仪、全站仪和 GPS 全球定位系统等，测量时可根据条件及需要灵活选择。

### 第一节 水 准 仪

水准仪测量高程比较准确，在遵守测量规范进行操作的条件下，仪器的测量精度可达每千米线长的高程偶然误差不超过 $\pm 3\text{mm}$ 。水准仪适用于一般水准测量、大型机器安装及房屋平基等。在线路上常将其用来引“标高”和杆塔基础操平。

#### 一、水准仪的主要技术参数

水准仪的主要技术参数见表 1-1-1。

表 1-1-1 水准仪的主要技术参数

名 称	项 目	技 术 参 数
望远镜	放大率	30 倍
	物镜有效孔径 (mm)	42
	视场角	$1^{\circ}26'$
	视距乘常数	100
	视距加常数	0
	最短视距 (m)	2.5
水准器	管状水准器角值 (弧长 2mm)	$20''$
	圆形水准器角值 (弧长 2mm)	$8'$
外形尺寸	仪器高度 (mm)	145
	脚架 (伸缩腿式) (mm)	950~1550

## 二、水准仪的主要结构及特点

### 1. 水准仪的主要结构

水准仪的主要结构如图 1-1-1 所示。

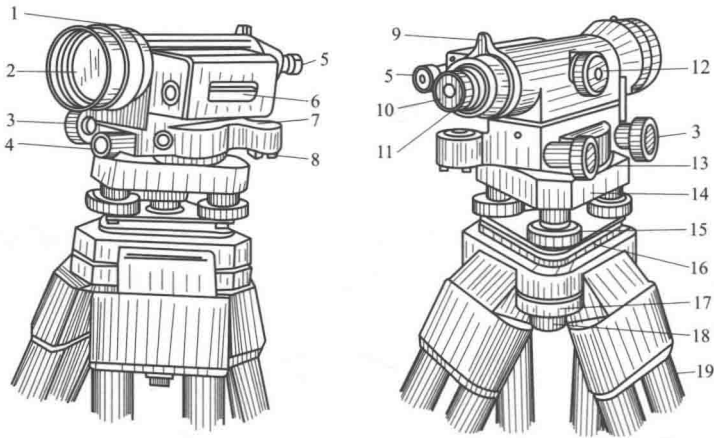


图 1-1-1 水准仪的主要结构

- 1—准星；2—物镜；3—水平微动螺旋；4—水平制动螺旋；5—符合水准器观测镜；  
6—长水准器；7—圆水准器；8—校正螺丝；9—照门；10—目镜；11—目镜对光螺旋；  
12—物镜对光螺旋；13—仰俯微倾螺旋；14—基座；15—脚螺旋；16—连接板；  
17—架头；18—中心固定螺旋；19—三脚架

### 2. 水准仪的主要特点

水准仪只能测量水平视场内的高程及水平距离，不能测量角度。水准仪只能在水平面内进行  $360^\circ$  旋转，不能上下移动，也不能翻转镜筒。

### 三、水准仪的有关操作

(1) 支好三脚架，将水准仪用中心固定螺旋 18 固定于三脚架上，使其基本水平。

(2) 调三个脚螺旋 15，使圆水准器 7 中的气泡居中（气泡运动方向与左手大拇指运动方向一致）。

(3) 用望远镜上的瞄准器（准星、照门）粗对目标。锁住水平制动螺旋 4，旋转物镜对光螺旋 12 至目标清晰。判断仪器是否对准目标，若稍有偏差，调水平微动螺旋 3 使其完全对准。

(4) 调仰俯微倾螺旋 13，使符合水准器观测镜中两半圆泡重合，如图 1-1-2 所示，然后读数。

(5) 每测量一个新目标，必须重复步骤 3 和步骤 4。

#### 四、水准测量操作实施

当地面两点间的高差较大或两点间的距离较远，超过允许的视线长度时，或两点间地形复杂、通视困难，安置一次水准仪不能测出两点间的高差时，必须在其间安置多次水准仪分段进行观测。

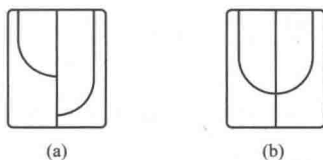


图 1-1-2 水准器观测镜调节  
(a) 两半圆泡不重合；(b) 两半圆泡重合

如图 1-1-3 所示， $A$ 、 $B$  两点的距离较远，地面起伏变化较大。已知  $A$  点的高程  $H_A$ ，现要测定  $B$  点的高程  $H_B$ 。观测步骤如下：后司尺员在  $A$  点立尺，前司尺员视地形情况在前方选择转点 1 放置尺垫立尺，在距两尺子大致相等的地面设置测站 1，安置水准仪。当视线水平时先对  $A$  点的水准尺读数为  $a_1$ ，记入表 1-1-2 中相应的后视读数栏内；然后对转点 1 的水准尺读数为  $b_1$ ，记入表中相应的前视读数栏内。转点的符号为 TP，第 1 个转点为  $TP_1$ 。转点的作用是传递高程，是临时立尺点。至此，第 1 测站的工作结束。 $TP_1$  点的水准尺保持不动，将水准仪移到第 2 测站，持  $A$  点的水准尺前进，选定  $TP_2$  点立尺。当视线水平时，对  $TP_1$  点的水准尺读数为  $a_2$ ，记入后视读数栏内；对  $TP_2$  点的水准尺读数为  $b_2$ ，记入前视读数栏内，第 2 测站工作结束。按以上方法依次安置第 3 站~6 站，测至  $B$  点。

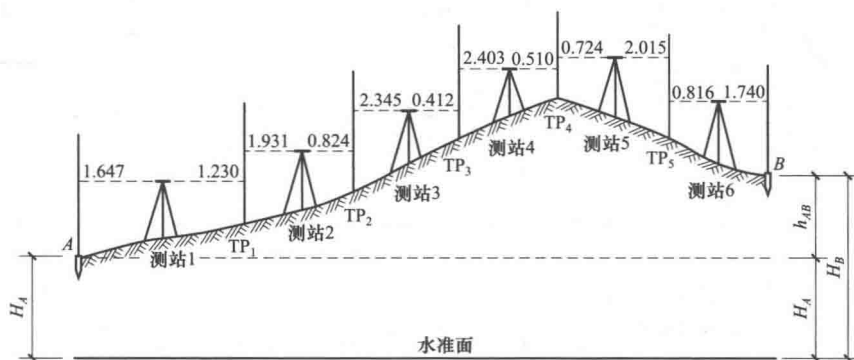


图 1-1-3 水准测量

计算各测站的高差。设各测站的高差顺序为  $h_1$ 、 $h_2$ 、 $\dots$ 、 $h_6$ ，其中：

$$h_1 = a_1 - b_1$$

$$h_2 = a_2 - b_2$$

...

$$h_6 = a_6 - b_6$$

将以上各式相加得

$$\Sigma h = \Sigma a - \Sigma b$$

上式说明，两点的总高差等于各站高差之和，也等于后视读数之和减去前视读数之和。

表 1-1-2 水准测量手簿

测站	点号	后视读数 (m)	前视读数 (m)	高差 (m)		高程 (m)	备注 (m)
				+	-		
1	A	1.647		0.417		32.432	$H_B = H_A + \Sigma h = 35.558$
	TP <sub>1</sub>		1.230				
2	TP <sub>1</sub>	1.931		1.107			
	TP <sub>2</sub>		0.824				
3	TP <sub>2</sub>	2.345		1.933			
	TP <sub>3</sub>		0.412				
4	TP <sub>3</sub>	2.403		1.893			
	TP <sub>4</sub>		0.510				
5	TP <sub>4</sub>	0.724			1.291		
	TP <sub>5</sub>		2.015				
6	TP <sub>5</sub>	0.816			0.933		
	B		1.749			35.558	
总和		9.866	6.740	+3.126			
计算的校核 (m)	$\Sigma h = \Sigma a - \Sigma b = 9.866 - 6.740 = +3.126$ $H_B - H_A = 35.558 - 32.432 = +3.126$						

## 五、水准仪的检验与校正

为了保证水准仪的正确使用，虽然仪器在出厂前已经过检验和校正，但在每次使用之前仍需进行检查和校正。水准仪应该满足下列条件：

- (1) 圆水准器轴线应平行于仪器转轴轴线。
- (2) 望远镜内分划板十字丝横丝应垂直于仪器转轴轴线。
- (3) 望远镜视准轴与长水准器轴平行。若上述条件不能满足，则应对水准仪进行校正。

水准仪的检验和校正顺序及方法如下：

- (1) 使圆水准器轴线与仪器转轴平行。将水准仪安置好并用脚螺旋 15 使

圆水准器 7 的气泡居中，将水准仪上半部分绕轴转动半周，如果气泡仍居中，则表示满足要求。否则需通过脚螺旋使气泡回中间一半，另一半则通过圆水准器下面的 3 只孔校正螺钉校正。重复进行到仪器转向两相反方向时气泡都位于圆水准器的中间为止。

(2) 使十字丝横丝与转轴轴线垂直。将望远镜横丝瞄准一小点，转动水平微动螺旋 3 使仪器上半部分绕轴转动，若点沿横丝移动且不离开，则满足要求，否则可用螺钉旋具把目镜座上 3 只制头螺钉略松开，然后转动整个目镜座（连同整个分划板）使之绕镜筒中心旋转至正确位置，再旋紧 3 只制头螺钉即可。

(3) 视准轴与长水准器轴在竖面上的不平行（也称主条件不满足的误差）的检校。首先在地面上相距约 50m

处设立 A、B 两点，将待检验的仪器放置在 A、B 两点中间（两端距离相等），测出两点的正确高差  $h=a-b$ （ $a$ 、 $b$  分别为 A、B 两尺的读数）。把仪器移至靠近 A 尺一端，如图 1-1-4 所示，分别使气泡居中并读出两标尺的读数  $a_1$ 、 $b_1$ ，则此时测得的高差为

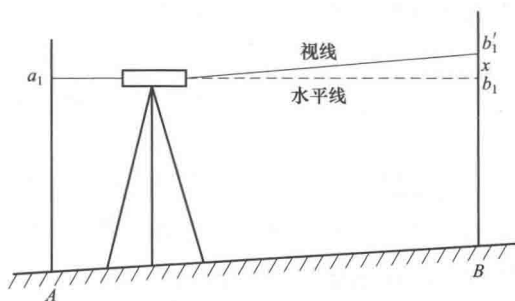


图 1-1-4 水准仪主条件检校

$$h_1 = a_1 - b_1$$

由于仪器有误差，因此仪器读数并非为平时的正确读数，设远尺应表示的正确读数为  $b'_1$ （仪器附近误差忽略不计），则

$$b'_1 = b_1 - x = a_1 - h$$

根据上述公式可计算出远尺的正确读数，然后把望远镜对准远尺的正确读数，校正长水准器端的上下两只改正螺钉，使气泡居中即可。

这项校正为水准仪中的最主要的项目，应反复进行直到误差小于 4mm 为止。

## 六、水准仪的维护与保管

(1) 水准仪是精密仪器，必须注意保护其各部分结构，避免失去原有精度。若对水准仪的结构不熟悉，则使用前应先仔细阅读使用说明书，并逐一掌握水准仪各部分结构、使用 and 操作方法，除水准仪上可以活动或拆下的部分外，不应随便拆卸水准仪。

(2) 施测时，若有烈日照射，则应撑伞避免阳光直射在水准仪上，否则将影响施测精度。

(3) 各螺旋及转动部分若发生阻滞不灵的情况，应立即检查原因，在未明确原因前，切勿过分用力扭扳，以防损伤水准仪结构或机件。

(4) 镜片上有影响观测的灰尘时，可用软毛刷轻轻拂去。若有轻微水气，可用洁净的丝绸、擦镜纸轻轻揩擦，切勿用手指触摸镜片。

(5) 水准仪在使用完毕后，应将各部分揩擦干净，特别是水气擦干时应稳妥、谨慎。水准仪和脚架均应放置在干燥通风、无酸性和无腐蚀性挥发物的地方。

(6) 水准仪除在施测过程中或其他特殊情况外，均应放置在箱子内或连箱整体搬移。

(7) 水准仪若有故障或损坏，必须由熟悉水准仪结构并有一定修理技术的人员进行检查修理，或送仪器工厂修理，切勿随意拆卸。

## 第二节 光学经纬仪

光学经纬仪的主要特点是采用玻璃度盘和光学测微装置，具有体积小、质量小、密封性好、读数精度高等优点。但光学经纬仪的不足之处是仪器操作部件较多，测量成果必须手工计算。

常用的光学经纬仪分为 J6 型和 J2 型两大类，以下分别介绍。

### 一、J6 型光学经纬仪

J6 型光学经纬仪的主要结构如图 1-1-5 所示。

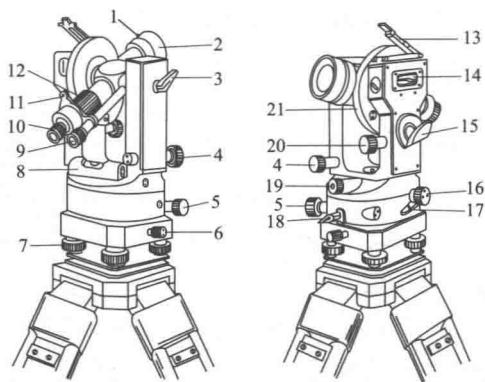


图 1-1-5 J6 型光学经纬仪的主要结构

- 1—准星；2—望远镜物镜；3—望远镜制动螺旋；4—望远镜微动螺旋；5—水平微动螺旋；6—轴套固定螺旋；  
7—底脚螺旋；8—照准部水准管；9—读数显微镜；10—望远镜目镜；11—照门；12—物镜调焦螺旋；  
13—竖盘水准管反光镜；14—竖盘水准管；15—反光镜；16—度盘变换手轮；17—保险手柄；  
18—水平制动螺旋；19—光学对中器目镜；20—竖盘水准管微动螺旋；21—竖盘外壳

J6 型经纬仪主要由望远镜、水平度盘、垂直度盘和基座四部分组成，其主要设备介绍如下：

(1) 望远镜。望远镜是经纬仪的照准设备，其作用是将不同距离的目标通过望远镜放大成像，使观测者看清目标，也为了精确照准目标。

现代经纬仪的望远镜都采用内对光式，由物镜、目镜、调焦透镜和十字丝板四部分组成。

(2) 水准器。为了测得水平角，经纬仪的水平度盘必须保持水平，垂直轴处于铅垂位置。水准器用来调平经纬仪，有管水准器和圆水准器两种。

1) 管水准器。管水准器是将玻璃管内表面磨成一定半径的圆弧，根据使用目的不同，圆弧半径为  $3.5\sim 200\text{m}$ 。管水准器的制作方法是在水准管内注满酒精和乙醚的混合液，加热使其膨胀而排出一部分，然后用火融封闭，待内部的酒精和乙醚冷却后，液体的体积缩小，管内形成一个空间，此空间称为水准管气泡。

2) 圆水准器。圆水准器为一金属圆盒，圆盒上面为玻璃盖，玻璃盖的内表面为磨光的球面，球面的曲率半径通常为  $0.5\sim 2\text{m}$ 。在圆盒的底部有一螺旋孔，通过此孔向水准器内注满沸腾的酒精和乙醚，然后用螺旋钉把该孔封闭，待水准器内的酒精和乙醚冷却后，所形成的空间即为圆水准器气泡。

3) 水准器灵敏度。水准器曲率半径越大，分划值越小，则水准器灵敏度越高，即水准器气泡移动越灵敏。由于管水准器比圆水准器的曲率半径大，因此管水准器比圆水准器灵敏度高，其可以精确整平仪器，而圆水准器仅用于粗略整平仪器。

(3) 基座。照准部以下为基座。转动基座下 3 个脚螺旋可使水平度盘水准管气泡居中，从而使水平度盘水平，仪器旋转轴竖直。

(4) 读数设备。读数设备包括度盘、测微器、显微镜三部分。度盘分为水平度盘和垂直度盘，都由玻璃制成。水平度盘沿着全圆周从  $0^\circ\sim 360^\circ$  顺时针刻有等角距分划线，相邻两分划线间弧长所对的圆心角称为度盘的格值，J6 型经纬仪的水平度盘格值有  $1^\circ$ 、 $30'$  两种。

测微器是测量不足一格的小数用的，目的是使读数精度提高。外部光线通过反光镜反射进去照亮度盘，内部的光学装置将水平度盘和垂直度盘的影像折射到望远镜旁边的读数显微镜里。

一般经纬仪采用分划尺测微器。图 1-1-6 所示是分划尺度盘成像情况，度盘格值为  $1^\circ$ ，分划尺有 60 格，总长为放大后度盘每格 ( $1^\circ$ ) 的宽度，所以



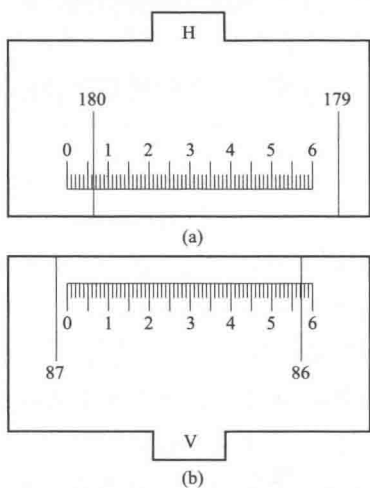


图 1-1-6 分划尺度盘成像  
(a) 水平度盘; (b) 垂直度盘

分划尺格值刚好为  $1'$ 。读数时，以度盘分划线为指标线，反过来读取分划线在分划尺上的读数，估读到  $0.1'$ 。如图 1-1-6 所示水平度盘读数为  $180^\circ 06'30''$ ，垂直度盘读数为  $86^\circ 57'$ 。

读数时应注意的问题：

1) 在显微镜中可以看到分划板上有两种角度读数，当两刻度数较接近时，容易将两角度读数混淆，因此必须掌握两种度盘的符号。水平度盘的常用符号有平、水平、H、 $\sphericalangle$ ；垂直度盘的常用符号有立、垂直、V、 $\perp$ 。

2) 度盘读数指线可能会有两条同时切在分划板上，但这是一种极限状态（两端

点）。因为分划板上的格值正好是  $1^\circ$  的宽度，所以，此时角度读数为小度数加  $60'$  或大度数加  $0'$ 。如图 1-1-6 所示，若水平角度  $179^\circ$  和  $180^\circ$  同时切在分划板上，此时读数分别为  $179^\circ 60'$  或  $180^\circ 0'$ ，其结果完全一样。

## 二、J2 型光学经纬仪

### 1. J2 型光学经纬仪的用途

J2 型光学经纬仪是一种精密光学测角仪器。该仪器在国防建设、大地测量和工程测量中占有很重要的地位。J2 型光学经纬仪可以广泛地应用于国家和城市的三、四等三角测量，同时也可用于铁路、公路、桥梁、水利、电力、矿山及大型企业的建筑、大型机械的安装和计量及电力线路测量等工作。

### 2. J2 型光学经纬仪的主要技术参数

J2 型光学经纬仪的主要技术参数见表 1-1-3。

表 1-1-3 J2 型光学经纬仪的主要技术参数

名称	项目	技术参数
角度误差	一测回水平方向中误差	$\pm 2''$
	一测回垂直角测量中误差	$\pm 6''$
望远镜	长度 (mm)	172
	物镜通光口径 (mm)	42