

普通工程测量

(第二版)

北京建筑工程学院测量教研组

中国建筑工业出版社

本书共分三部分。第一部分（一至五章）主要介绍测量仪器的构造、使用和检校，并阐述了测量误差的基本知识；第二部分（六至七章）介绍了小地区地形测量的程序和方法，及地形图在工程建设中的应用；第三部分（八至十一章）结合工程实践分别介绍了道路、桥涵、隧洞、管道和房屋建筑等工程建设中的测量工作以及变形观测的概念。附录中摘要介绍了仪器的使用和维护方法。

本书供工程测量和测绘工作人员参考，也可作为土建专业测量的教材。

* * *

责任编辑：王鸿诏

普通工程测量
(第二版)
北京建筑工程学院
测量教研组

*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

*

开本：850×1168毫米 1/32 印张：12¹/₂，字数：331千字
1984年2月第二版 1984年2月第四次印刷
印数：177,151—209,250册 定价：1.55元
统一书号：15040·4599

第二版说明

本书第一版发行后，受到了广大读者的欢迎，在使用过程中，读者提出了不少宝贵的修改意见，我们谨向广大读者和关心本书的同志们表示衷心的感谢。

为了进一步适应我国社会主义建设事业的需要和测绘技术的新发展，我们对本书进行了修订，以期既适合于向广大工程技术人员普及测量基本理论和技术，也适合于在技术上给专业人员以一定程度的提高，并满足有土建专业的院校对教学用书的需要。

第二版主要做了如下修订：

1. 增加一些必要的基本理论，如测量误差的基本知识；
2. 增加了新仪器、新技术的介绍，如自动安平水准仪和电磁波测距技术；
3. 扩大了对中型工程中测量工作的适应范围，如增加了小三角测量，缓和曲线的测设；
4. 对某些章节次序和内容做了适当的调整；
5. 有选择地增加了一些专业性较强的英文词汇，以利于阅读有关的英文书刊，但缩写符号仍按国家规定（多数为汉语拼音）。

由于测量技术的不断发展和我们的水平有限，以及修改时间较短，本书仍会有不少缺点，望读者在使用中提出批评和建议，以便进一步修订。

参加本书编写的有：马国庆、王光遐、张泽生、轩德华、郑其昆、胡新福、储文景。校内外不少同志为本书校订也做了大量工作。第一版主编：王光遐、马国庆。第二版主编：马国庆。

北京建筑工程学院

测量教研组

一九八三年七月

前 言

为了适应工农业建设的需要，在我院测量学教材的基础上编写了这本普通工程测量。

本书介绍了测量仪器的构造、使用与检校，阐述了地形图的应用与测绘，结合工程实践，分别介绍了道路、桥涵、隧洞、管道、农田水利和房屋建筑等工程建设中的测量工作。

书中密切结合生产实践，介绍了国产仪器和工程测量中常用的测量方法。在测算工作中介绍了有关的校核方法，以保证成果的质量。

本书内容涉及范围虽广，但对各种工程测量的介绍均以中小型工程为对象，故取名为“普通工程测量”。目的是为了适应城乡建设的需要并便于初学者掌握和运用。

在本书的编写过程中，得到了北京市各市政和建筑工程公司、设计院、北京市测绘处、北京工业大学以及一些省市兄弟单位的大力帮助和我院广大师生的配合，他们为本书提供了许多材料和宝贵意见，在此致以衷心的感谢。

由于我们水平有限，书中一定有不少缺点和错误，希望同志们在参阅过程中给予批评指正，以便进一步修改。

北京建筑工程学院

测量教研组

一九七六年七月

目 录

第一章 绪论	1
§ 1-1 测量学的任务和分类	1
§ 1-2 测量坐标系和点位确定	2
§ 1-3 测量工作概述	8
第二章 水准仪和水准测量	11
§ 2-1 水准测量的原理	11
§ 2-2 微倾式水准仪的构造和使用方法	12
§ 2-3 自动安平水准仪的构造和使用方法	19
§ 2-4 水准尺和读数	22
§ 2-5 水准测量的方法和记录	24
§ 2-6 水准测量的注意事项	29
§ 2-7 水准测量的精度要求和校核方法	32
§ 2-8 三、四等水准测量	35
§ 2-9 测设已知高程的点	39
§ 2-10 微倾式水准仪的检验和校正	42
第三章 经纬仪和角度测量	47
§ 3-1 角度测量原理	47
§ 3-2 6秒级光学经纬仪的构造和使用方法	50
§ 3-3 水平角测量的方法和记录	53
§ 3-4 水平角测量的注意事项	59
§ 3-5 竖直角测量的方法和记录	60
§ 3-6 测设已知数值的水平角	63
§ 3-7 经纬仪的检验和校正	64
第四章 直线丈量 and 定向	71
§ 4-1 直线定线	71
§ 4-2 一般丈量方法和记录	76
§ 4-3 精密丈量方法概述	81
§ 4-4 视差法测距概述	85
§ 4-5 光电测距概述	87
§ 4-6 测设已知长度的直线	93

§ 4-7 直线定向	94
第五章 测量误差的基本知识	97
§ 5-1 概述	97
§ 5-2 偶然误差的统计规律性	99
§ 5-3 衡量观测质量的指标	101
§ 5-4 观测值函数的中误差	105
§ 5-5 等精度观测列的最或然值和精度评定	109
§ 5-6 非等精度观测列的最或然值和精度评定	112
§ 5-7 观测误差的估算和允许误差的确定	119
第六章 小地区平面控制测量	124
§ 6-1 控制测量概述	124
§ 6-2 普通导线的外业工作	127
§ 6-3 单一导线的计算	129
§ 6-4 单结点导线的计算	143
§ 6-5 测角交会点的计算	148
§ 6-6 小三角网(锁)的计算	155
第七章 地形图的测绘和应用	173
§ 7-1 地形和地形图	173
§ 7-2 地形图的比例尺	174
§ 7-3 地形图图式	177
§ 7-4 地形图的分幅和编号	185
§ 7-5 控制点的展绘	187
§ 7-6 平板仪的构造和安置方法	189
§ 7-7 平板仪图解控制点的基本方法	192
§ 7-8 视距原理和方法	196
§ 7-9 碎部测量的基本方法	206
§ 7-10 测绘工程用图的有关要求	212
§ 7-11 地形图的拼接、整饰、检查和验收	214
§ 7-12 地形图在工程中的主要应用	217
第八章 道路工程测量	229
§ 8-1 概述	229
§ 8-2 中线测量	231
§ 8-3 圆曲线的测设	241

§ 8-4	缓和曲线的测设	270
§ 8-5	纵断面测量	282
§ 8-6	横断面测量	289
§ 8-7	地形图测量	295
§ 8-8	道路施工测量	298
§ 8-9	桥涵施工测量	310
§ 8-10	隧洞施工测量	319
§ 8-11	竣工测量	323
第九章	管道工程测量	325
§ 9-1	概述	325
§ 9-2	中线测量	326
§ 9-3	纵、横断面测量	329
§ 9-4	管道施工测量	330
§ 9-5	顶管施工测量	340
§ 9-6	竣工测量	345
第十章	建筑工程施工测量	347
§ 10-1	概述	347
§ 10-2	建筑工程施工控制测量	347
§ 10-3	建筑物的定位	352
§ 10-4	建筑物的放线	355
§ 10-5	施工过程中的测量工作	357
§ 10-6	结构安装测量	361
§ 10-7	烟囱(或水塔)施工中的测量工作	366
§ 10-8	竣工总平面图的编绘	368
第十一章	变形观测简介	369
§ 11-1	精密水准仪及其使用	369
§ 11-2	精密经纬仪及其使用	371
§ 11-3	建筑物的沉降观测	373
§ 11-4	建筑物的倾斜观测	377
§ 11-5	建筑物的裂缝观测	380
附录	测量仪器的使用和保养	381

第一章 绪 论

§ 1-1 测量学的任务和分类

测量学 (surveying) 是研究应用测量工具, 对地面点的相互关系进行量度, 以确定点的位置的科学。其主要工作任务可概括为两方面:

1. 把整个地球表面或局部地球表面的形状和大小, 用各种符号测绘到图纸上, 或者用数字表示出来, 简称“测绘”;

2. 把图纸上已设计好的各种工程建筑物, 按照设计要求测设到地面上去, 用各种标志表示出来, 简称“测设”。

在社会主义经济建设中, 一切土建工程如: 道路、桥梁、各种管道工程、农田水利、工业及民用建筑、矿山和铁路建设等, 都需要利用测量所得到的各种资料和图纸进行规划设计、工程量的估算和方案比较, 以选出最经济、最合理的设计方案。为了保证设计意图的实现, 在工程施工中也要首先通过测量建立很多标志, 作为施工的依据。工程竣工后, 为了满足使用、管理、维修和扩建的需要, 还要把施工的成果, 通过测量记录下来, 编绘出竣工图纸和资料。

在国防工程中, 军事战略、战役的部署和具体军事行动的指挥, 都需要有精确的地形图和各种观测数据。

在科学研究上, 例如研究地球整体的形状和大小、地壳升降变化、陆地变迁以及地震预报等科学问题, 也都需要测量工作。

总之, 测量工作在社会主义经济建设、国防建设和科学研究中, 都起着重要的先行作用。

按目前测量科学的发展和应用, 基本上可分为四类:

1. 大地测量学 (geodetic surveying) 专门研究地球整体

的形状、大小和解决在大面积内建立大地控制网的问题。

2. 地形测量学 (topographic surveying) 在大地控制网的基础上, 根据需要测绘各种比例尺的地形图。

3. 摄影测量学 (photographic surveying) 利用航空摄影或地面摄影所得到的摄影像片, 经过内业纠正, 绘制成地形图。

4. 工程测量学 (engineering surveying) 为城镇建设、矿山建设、交通运输、农田水利等工程建设服务的测量科学。

本书为普通工程测量, 侧重讨论在小区域内为中小型工程服务的测量工作。

测量学是人们在多年生产实践中总结、创造发展起来的。随着天文学、数学、物理学的发展和工农业生产对测量的需要, 测量的理论和实践也逐步地发展, 从而形成了独立的科学体系。特别是现代科学技术的发展, 使测量工作朝着电子化, 自动化方向发展, 如光电测距仪、自动安平水准仪、竖盘自动归零经纬仪、全站式经纬仪, 以及电子计算机的应用, 极大地缩短了观测和计算时间, 减轻了体力劳动, 提高了工效。虽然目前在工程测量范围内, 手工操作仍是基本的、大量的, 但是不久的将来, 测量工作随着国民经济的发展会有较大的变化。我们要努力掌握好基本理论和实践, 不断地学习和探索新技术在测量上的应用, 以便更好地为人民服务。

§ 1-2 测量坐标系和点位确定

一、测量基准面

地球的自然表面是起伏不平极其复杂的。描述这样一个复杂表面上各点的位置, 就要选择一个基准面 (datum) 作依据。由于地球表面上海洋的面积约占71%, 而陆地面积只占29%, 因而人们很自然地把理想的静止的海水表面选为基准面。把自由静止的(海)水面叫水准面 (level surface)。海水表面是有涨落的, 因而水准面不是唯一的, 但是某一点多年平均海水面位置

基本上是稳定的，所以各国都人为地选取过某一点的平均静止海水面作为唯一的基准面，叫大地水准面（geoid surface）。用大地水准面所围成的形体来代表地球的形状和大小，叫大地体。

水准面和大地水准面的特点是面上各点处处与铅垂线垂直、都是曲面。由于地球表面起伏不平和地球内部物质分布不均匀，水准面和大地水准面的几何形状是不规则的。根据人造卫星长期观测的成果分析，大地水准面是一个近乎梨形的球体表面，如图1-1中实线部分，北极略为凸出，南极略平。但大地水准面与它最逼近的扁球（图1-1中虚线部分）相比，最大偏离不过几十米（图中比例有些夸大）。

梨形地球表面是不适于作测量计算的，于是选择一个与大地水准面非常接近，而且可以用数学公式表述的旋转椭球体面而作为测量基准面，叫地球椭球体（earth ellipsoid），以此面为基准建立坐标系，如图1-2。

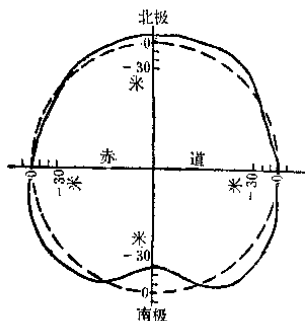


图 1-1

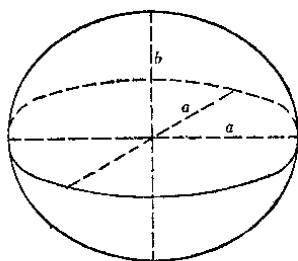


图 1-2

确定地球椭球体的几何要素是大地测量学的主要任务之一。历史上有过多次测定，近年来通过人卫测量又有了几种较精确的结果。1979年国际大地测量学会推荐值为：

长半径 $a=6378137$ 米

$$\text{扁率} \quad a = \frac{a-b}{a} = \frac{1}{298.257}$$

(我国现今采用 $a=6378140$ 米, $a=1/298.257$)

由于地球半径很大,扁率很小,所以在普通工程测量中,可以把地球整体近似地看成为半径 $R=(a+a+b)/3=6371$ 公里的圆球。

由于地面点是位于三维空间的点,所以确定地面点位是以选定的基准面为准,用三维坐标表示。在大范围内,用球面坐标系的两个坐标表示点投影到椭球表面上的位置。在小范围内,用平面直角坐标系中两个坐标表示点投影到水平面上的位置。第三个坐标是用点高于或低于大地水准面的铅垂距离表示。

二、地 理 坐 标

在大区域内,从整个地球着眼来考虑点的位置,常用经度 λ (latitude) 和纬度 ϕ (longitude) 表示。

如图1-3, B点的经度 λ 是过B点的子午面 $P_N BB' P_S$ 与过格林

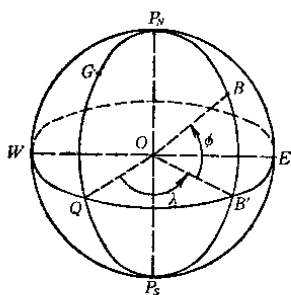


图 1-3

威治天文台 G 点的首子午面 $P_N GQP$ 之间的夹角。其数值是由首子午面起分别向东、向西计算,并分别记为东经或西经。B 点的纬度 ϕ 是 B 点的铅垂线 BO 与赤道平面 $WQB'E$ 之间的夹角。其数值由赤道面起分别向北、向南计算,并分别记为北纬或南纬。

经度 λ 和纬度 ϕ 是点的地理坐标 (geographical coordinate)。地理坐标的数值可用天文测量方法测定。例如北京某点的地理坐标为东经 $116^{\circ}20'00''$, 纬度为北纬 $39^{\circ}55'57''$ 。

三、平面直角坐标

1. 假定的平面直角坐标 (assumed plane coordinate) 在小范围内 (一般指以20公里为半径的范围内), 把局部地球表面上的点, 以正射投影的原理投影到水平面上, 在水平面上假定一个直角坐标系, 用直角坐标描述点的平面位置, 如图1-4。

假定平面直角坐标系的建立方法, 一般是在测区中选一点为坐标原点, 以通过原点真南北方向 (子午线方向) 为纵坐标轴方向, 以通过原点的东西方向 (垂直于子午线方向) 为横坐标方向。为了便于直接引用数学中有关公式, 测量中规定: 纵坐标轴为X轴, 横坐标轴为Y轴, 象限的编号顺序为

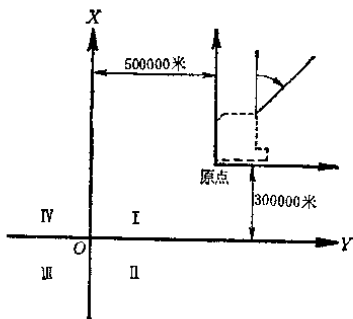


图 1-4

自X轴起, 按顺时针排列, 相应的定向角也从X轴顺时针度量。为了避免在测区内出现负数坐标, 原点坐标多定为一个足够大的数, 如图中 $x_{\text{原}}=300000$ 米, $y_{\text{原}}=500000$ 米。

直角坐标系建立后, 地面上各点的位置都可以用统一坐标 (x, y) 表示。即: 地面点可用坐标反映在图纸上, 图上的点也可以用坐标准确地反映在地面上。

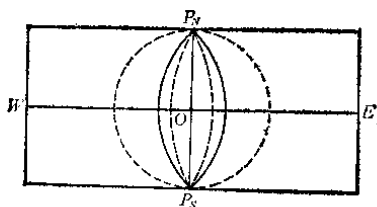
2. 高斯-克吕格平面直角坐标 (Gauss-Krüger coordinate) 因为地球表面是曲面, 所以在较大范围内, 不宜采用正射投影的方法在平面上描述地面点的点位。地理坐标在一般测量中运用极不方便, 为此常采用特定的地图投影的方法。我国国家地形图采用的是“高斯-克吕格投影法”, 又名“等角横切圆柱投影”, 简称“高斯投影”。它是将地球表面按经差 6° 划为

60个带，分别把每一个带上的经纬线和地面点按等角投影的方法，投影到一个可展开为平面的投影面上去。在投影面上建立平面直角坐标系来描述点的位置。

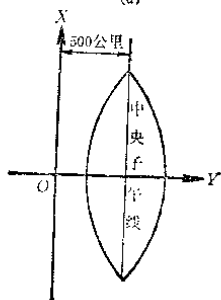
为了简明地了解高斯投影，可把地球设想为一个圆球，把地球放到一个用平面卷成的横圆柱筒内，横圆柱的中心线要通过地球的中心，并使地球上一个带的中央子午线与横圆柱面相切，如图1-5(a)， P_NOP_s 就是中央子午线，显然，这条子午线在柱面上的投影是一条直线，长度也没有变形，此线作为投影后的纵坐标轴——X轴。将赤道面平面扩大，并与柱面相交，如图1-5(a)中的WE，则得到赤道在柱面的投影，它也是一条直线，但长度有变形，此线作为投影后的横坐标轴——Y轴。两轴的交点O作为坐标原点。这样就建立了高斯平面直角坐标系。如图1-5(b)，考虑到带内各点的坐标不要出现负值，所以坐标原点的坐标定为 $x=0$ 米， $y=500000$ 米(=500公里)。将整个带内的点构成的图形都按等角投影(投影前后图形角度无变形)的原则向柱面投影(要用数学的方法导出投影关系式)，柱面展开后即得到整个带的投影图。图1-5(a)中虚线表示带界在地球上的位置，实线是投影后的位置。这种投影在长度上是有变形的(投影前后长度不相等)，离中央子午线愈远则变形愈大。将地球分带投影就是为了限制变形的范围，以满足测图精度的需要。分带后各带都建立了带内坐标系，为了区别各带的所属关系，表明各带的相对关系，带号由全球统一编定。第一带为经度 $0^\circ\sim6^\circ$ ，中央子午线为经度 3° 。向东以此类推，如图1-5(c)上半部。北京市在第20带。若希望长度变形更小，还可以用经差 3° 分带如图1-5(c)下半部。

四、高 程

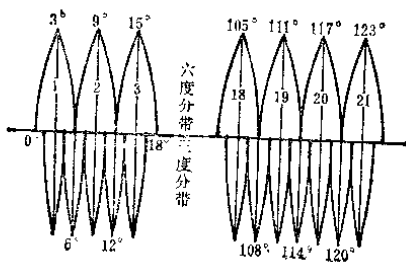
为了比较全国各地的高低，高程(elevation或height)必须以统一的大地水准面为准。我国规定采用青岛验潮站求得的1956年黄海平均海水面为大地水准面，高程确定为零。



(a)



(b)



(c)

图 1-5

地面点到大地水准面的铅垂距离，叫点的绝对高程（absolute elevation），也叫海拔（absolute altitude），如图1-6中 H_A ， H_B 。世界最高峰——珠穆朗玛峰的绝对高程为8848.13米。在局部地区小范围内比较点的高低，也可以任选一个假定水准面作为高程起算面。点到假定水准面的铅垂距离叫假定高程（assumed elevation）。在实际工作中是选定一个稳固的点，假定它的高程，附近点的高程都以它为准进行推算。

如果地面上两点高程都知道，那么两点的高差就可以计算出来。图1-6中：

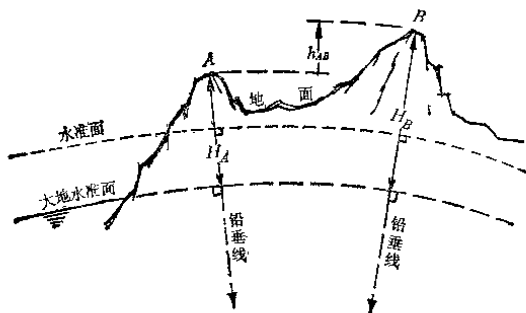


图 1-6

$$B \text{ 点对 } A \text{ 点的高差 } h_{AB} = H_B - H_A \quad (1-1)$$

由上式知，高差有正负之分。符号为正时，表示B点高于A点；符号为负时，表示B点低于A点。

§1-3 测量工作概述

一、测量工作的基本程序

无论是地形图的测绘，还是工程设计图的测设，其工作的本质都是测定地面上一些具有代表性的点，即“特征点”的位置（平面位置和高程）。为了控制在测量工作中产生的、不可避免

的误差的积累，人们在实践中，创造和总结出了“先整体后局部，先控制后碎部”的工作程序。首先在全测区内，选定一些有控制意义的点，组成整体控制网，以较高的精度测定各控制点的位置，叫控制测量。然后，再以控制网为基础测定各局部的点位，即以各控制点为准，分别测定其附近特征点的位置，叫碎部测量。这样的工作程序，一方面由于控制网的作用，可以保证测区的整体精度，不致使碎部测量的误差累积起来而影响全测区；另一方面还可以根据控制网把整个测区划分成若干个局部，展开几个工作面同时施测碎部，由于碎部测量是根据各控制点进行的，范围均较小，故碎部测量可在符合精度要求的情况下采用精度较低的测法，以提高工效、缩短工期和节省经费开支。

二、测量工作的基本内容

地面点的坐标和高程，在实际工作中并不是直接测定的，而往往都是通过测量地面点的相互关系，经过推算得到的。在图1-7中，如已知1点坐标(x_1, y_1)，那么通过测量水平角 $\alpha, \beta_2, \beta_3, \dots$ 和水平距离 $D_1, D_2, \dots$ ，就可以运用几何关系推算出2, 3, $\dots$ 点的坐标。同理，如果知道1点的高程，又测得了各相邻点的高差，那么2, 3, $\dots$ 点的高程也可以推算得到。所以，水平角、水平距离和高差就是确定地面点位的三个要素，而

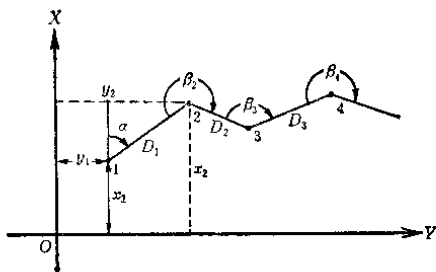


图 1-7

测定这三个要素就是测量工作的基本内容。

三、对测量人员的基本要求

测量工作是一项精心细致的工作，稍一不慎，就可能产生错误。一处发生错误如未及时发现，即影响下一步工作，甚至影响到整个测量的成果，造成推迟工程进度或返工浪费，给国民经济带来损失。所以“错误”在测量成果中是绝对不允许的。测量人员必须树立为人民服务的思想，坚持严肃认真的科学态度。

为了保证测量成果的质量，测量工作必须坚持做得测、算工作步步有校核，不合乎技术规定的成果，一定要查清原因，返工重测，以保证有足够的精度。此外，为了符合各种工程对测量工作的不同要求，工程测量人员必须主动了解工程情况。还要坚持紧张而有秩序的工作，多、快、好、省地完成测量任务。

测量工作都是以队、组的组织形式，集体进行工作的。因此，要发扬集体主义精神，做到团结互助，才能把工作搞好。

测量工作是一项比较艰苦的工作，无论是野外的勘测，还是施工现场的测量，常常是白天外业观测，夜间还需要进行内业计算和制图。因此，测量人员必须具有为革命事业不怕劳累和连续作战的革命作风。

测量仪器对测量人员来说，同战士的枪枝一样必须加倍爱护，不论是贵重的光学仪器还是细小的测针，都是测量工作中不可缺少的生产工具，是劳动人民辛勤劳动的成果。因此，测量人员必须从思想上爱护仪器，并在行动上养成正确使用仪器的良好习惯。

测量记录和测绘的图纸是外业工作的成果，是评定观测质量、使用观测成果的基本依据。因此，必须认真做好记录工作，要做到内容真实、完善，书写清楚、整洁。要保持记录的“原始性”，工作结束后，及时上交有关部门保存。

测量标志是测量工作的重要依据。因此，要做好标志的设置工作，并依靠群众，做好标志的保护工作。