



课程导入

0.1 课程的定位与作用

建筑物是人类生产、生活的场所,是社会科技水平、经济实力、物质文明的象征。在建筑工程建设中,测量工作有着广泛的应用,任何环节都需要进行测量工作,而且测量的精度和速度直接影响到整个工程的质量和进度。测量工作在工程施工过程中就好比是“眼睛”,为每一步施工指引方向。没有测量,施工将寸步难行;测量稍有差错,将对工程造成致命的影响。

工程测量是每个工程技术人员必须具备的能力,其工作内容贯穿于建筑工程的始终。在工程勘察阶段,需要进行工程地质测绘,测定地质点位置和高程;在工程设计阶段,需要建立测图控制网,测绘大比例尺地形图,为工程规划设计提供地形资料;在工程施工阶段,需要进行施工放样和设备安装测量,给定施工标志,以作为施工的依据;施工结束以后,需要进行竣工测量,编绘竣工总平面图,用以评定施工质量,为建筑物以后的维修管理、扩(改)建提供资料;在运营管理阶段,对一些重要的大型建筑物还需要进行变形观测,以监视其运行情况,确保工程安全。

从上述建筑工程测量的工作内容中不难看出,测量工作在工程建设的各个阶段都起着重要的作用。因此,本课程是土木建筑大类各专业必修的一门专业平台课程,其主要功能是使学生掌握测量工作的基础知识,具备建筑工程施工测量与放线的工作能力,胜任测量员(建筑施工方向)一线岗位工作。

本课程应以“建筑识图与构造”课程为基础,与“建筑 CAD”课程同时开设,以强化建筑工程的按图施工意识,提高测量技术的现代化水平,为后续施工技术课程打下坚实基础。

0.2 地球的形状与大小

测量工作的任务是确定地面点的空间位置,其主要工作是在地球自然表面上进行的,测量的成果又需要归算到一定的平面上,才能进行计算和绘图。所以,必须了解地球的形状和大小。

如图 0-1 所示,地球是一个南北极稍扁、赤道略鼓,平均半径约为 6371km 的椭球体。其自然表面上有高山、丘陵、平原、盆地、湖泊、河流和海洋等,呈现高低起伏的形态。我国的珠穆朗玛峰峰顶是世界的最高点,其岩石面海拔高程为 8844.43m(2005 年数据);而世界

最低处为太平洋的马里亚纳海沟,其深度为 -11034m 。尽管地球表面有这样大的高低差距,但相对于地球的平均半径而言可以忽略不计。

0.2.1 大地水准面

地球的自然表面形状十分复杂,不便于用数学公式表达。地球表面的总面积约为 5.1 亿 km^2 ,其中海洋面积为 3.61 亿 km^2 ,约占地球表面的 71% ;陆地面积为 1.49 亿 km^2 ,约占地球表面的 29% 。因此,可以把海水面所包围的地球形体近似看作地球的形状,即设想有一个静止的海水面向陆地延伸而形成一个封闭的曲面。由于海水有潮汐,时高时低,因此取平均静止的海水面作为地球形状和大小的标准。

地球表面任一质点都同时受到两个作用力:其一是地球自转产生的惯性离心力,其二是整个地球质量产生的引力,这两种力的合力称为重力。引力方向指向地球质心。如果地球自转角速度是常数,惯性离心力的方向垂直于地球自转轴向外,重力方向则是两者合力的方向,如图 0-2 所示。重力的作用线又称为铅垂线(图 0-2)。用细绳悬挂一个锤球,其静止时所指示的方向即为铅垂线方向。铅垂线是测量外业工作的基准线。

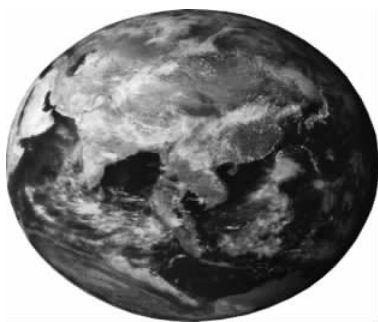


图 0-1 地球

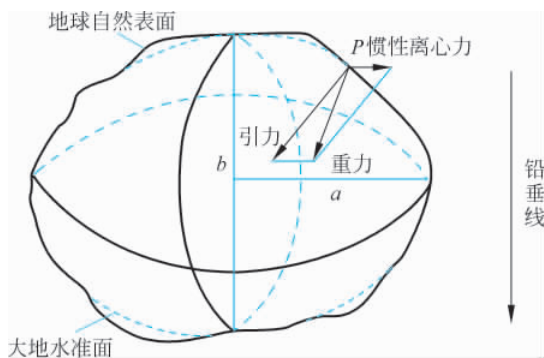


图 0-2 重力与铅垂线

处于静止状态的水面称为水准面。由物理学可知,水准面是一个重力等位面,处处与重力方向(铅垂线方向)垂直。与水准面相切的平面称为水平面。由于水面高低不一,因此水准面有无数个,其中与平均海水面相吻合的水准面称为大地水准面,如图 0-3 所示。大地水准面是唯一的,由大地水准面所包围的地球形体称为大地体。

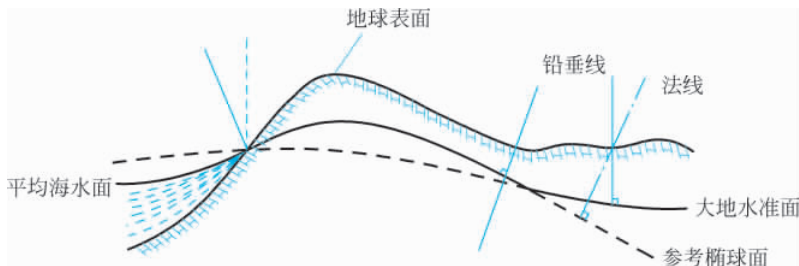


图 0-3 大地水准面

0.2.2 参考椭球体

大地水准面与地球表面相比,可以说是一个光滑的曲面,但由于地球内部物质的密度分布不均匀,地球各处万有引力的大小不同,因此地面上各点的铅垂线方向是不规则变化的。这种不规则的变化决定了大地水准面实际上是一个略有起伏的不规则曲面,无法用数学公式精确表达。如果将地球表面上的物体投影到这个复杂的曲面上,计算起来将非常困难。为了计算和绘图方便,必须选择一个与大地水准面非常接近,能用数学方程式表示的曲面来代替它。

长期大量的测量实践研究表明,地球形状极近似于一个两极稍扁的旋转椭球,即一个椭圆绕其短轴旋转而成的形体,这个几何形体称为旋转椭球体,其外表面为旋转椭球面,如图 0-4 所示。

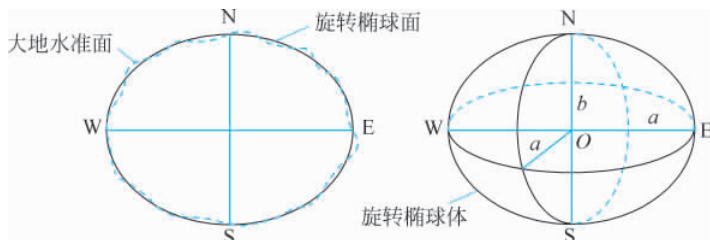


图 0-4 旋转椭球体

代表地球形状和大小的旋转椭球称为地球椭球。与大地水准面最接近的地球椭球称为总地球椭球;与某个区域,如一个国家大地水准面最为密合的椭球称为参考椭球,其椭球面称为参考椭球面。如果对参考椭球面的数学式加入地球重力异常变化参数的改正,便可得到大地水准面的近似数学式。

在实际工作中,参考椭球面是测量内业计算的基准面,大地水准面是测量外业工作的基准面。以大地水准面作为测量外业工作的基准面,有以下两方面原因:一是当对测量成果的要求不十分严格时,不必改正到参考椭球面上;二是在实际工作中,可以非常容易地得到水准面和铅垂线。用大地水准面作为测量的基准面,可以大大简化操作和计算工作。

0.3 误差的基本知识

0.3.1 误差及其表示方法

在测量工作中,某量的观测值与该量的真实值之间必然存在着微小差异,该差异称为误差。但有时由于人为的疏忽或措施不周也会造成观测值与真实值之间的较大差异,这不属于误差而是错误。误差与错误的根本区别在于,前者是不可避免的,而后者可以通过仔细、认真和规范的工作加以避免。

0.3.2 误差的来源

在测量工作中,产生误差的原因有很多种,但归纳起来一般有以下 3 个方面:

- (1) 仪器(工具)的制造和校正不可能十分完善;
- (2) 观测人员的感觉器官鉴别能力有限,技术水平、工作态度和身体状况等各有差异;
- (3) 温度、湿度、风力、地球曲率和大气折光等外界自然条件的影响。

上述 3 个方面综合起来称为观测条件。测量成果的精确程度简称为精度。观测条件相同的各次观测称为等精度观测,观测条件不同的各次观测称为非等精度观测。一般情况下,观测条件好,观测时产生的误差可能就小,因而观测精度就高;相反,如果观测条件差,观测时产生的误差可能较大,因而观测精度就低。

0.3.3 误差的分类及性质

误差按性质可分为两类:系统误差和偶然误差。

1. 系统误差

在同一观测条件下,对某一量值测得的一系列观测值,其误差的数值、符号均相同,或按一定规律变化,这种误差称为系统误差。系统误差具有以下特点:

- (1) 系统误差的大小(绝对值)为一常数或按一定规律变化;
- (2) 系统误差的符号(正、负)保持不变;
- (3) 系统误差具有累积性,即误差大小随单一观测值的倍数累积;
- (4) 系统误差具有可消减性,找出系统误差产生的原因和规律,通过计算改正或改变观测条件,可使误差消减。

2. 偶然误差

在同一观测条件下,对某量所测得的一系列观测值,其误差的大小(绝对值)和符号(正、负)都表现出偶然性,但就大量观测误差整体来看,则具有统计规律性,这种误差称为偶然误差。偶然误差具有以下特点:

- (1) 在一定观测条件下,偶然误差的大小(绝对值)不超过一定的限值,即大误差出现的有界性;
- (2) 绝对值较小的误差比绝对值较大的误差出现的可能性大,即小误差出现的密集性;
- (3) 绝对值相等的正误差和负误差出现的可能性相等,即正负误差出现的对称性;
- (4) 偶然误差的算术平均值随观测次数的无限增加而趋近于零,即全部误差出现的抵消性。

0.3.4 衡量精度的标准

1. 中误差

我国统一采用中误差作为衡量精度的标准。中误差在统计学中称为标准差,用 m 表示,其计算公式为

$$m = \pm \sqrt{\frac{[\Delta\Delta]}{n}} \quad (0-1)$$

$$[\Delta\Delta] = \Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \cdots + \Delta_n^2$$

式中： Δ ——真误差；

$[\]$ ——高斯取和符号；

n ——观测值的个数。

真误差 Δ 衡量的是某个观测值的精度；中误差 m 衡量的是一组观测值的精度。中误差 m 越小，说明误差的分布越密集，各观测值之间的差异越小，观测的精度越高；反之，中误差 m 越大，说明误差的分布越离散，各观测值之间的差异越大，观测的精度越低。

根据偶然误差的第 4 个特点，当观测次数无限增加时，其偶然误差的算术平均值趋近于零，即算术平均值就趋近于未知量的真值。但是在实际测量工作中，观测次数总是有限的，通常取算术平均值作为最后结果，它比所有的观测值都可靠，故把算术平均值称为“最可靠值”或“最或然值”。未知量的算术平均值与观测值之差称为观测值的改正数，用 v 表示。

在实际工作中，由于真值是一个未知量，因此中误差的计算不用真误差，而用观测值的改正数。

$$m = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{n-1}} \quad (0-2)$$

$$[vv] = v_1^2 + v_2^2 + \cdots + v_n^2$$

式中： v ——观测值的改正数；

n ——观测值的个数。

用观测值的改正数计算中误差的公式称为白塞尔公式。

2. 相对误差

在距离测量过程中，误差的大小和距离的长短有关，对于这种情况，仅用中误差不能完全表达测量结果的精度，必须采用相对误差。相对误差可分为相对中误差和相对真误差，用 K 表示。

(1) 相对中误差的计算公式为

$$K = \frac{|m|}{\bar{D}} = \frac{1}{N} \quad (0-3)$$

式中： m ——观测值的中误差；

$\bar{D}$ ——观测值的算术平均值。

(2) 相对真误差的计算公式为

$$K = \frac{|D_{\text{往}} - D_{\text{返}}|}{\bar{D}} = \frac{|\Delta D|}{\bar{D}} = \frac{1}{N} \quad (0-4)$$

式中： $D_{\text{往}}$ ——往测距离；

$D_{\text{返}}$ ——返测距离；

$\bar{D}$ ——往返测平均值；

ΔD ——往返测较差。

相对误差通常用分子为 1 的分式表示,分母 N 值越大,观测精度则越高。

3. 允许误差

由偶然误差的第一个特性可知,在一定的观测条件下,偶然误差的绝对值不会超过一定的限值。根据大量的实践和误差理论统计证明,在一系列同精度的观测误差中,偶然误差的绝对值大于 1 倍中误差的出现个数约占总数的 32%,绝对值大于 2 倍中误差的出现个数约占总数的 4.5%,绝对值大于 3 倍中误差的出现个数约占总数的 0.27%。因此,在测量工作中,通常取 2~3 倍中误差作为偶然误差的允许值,称为允许误差。

如果观测值的误差超过了 3 倍中误差,可认为该观测结果不可靠,应舍去不用或重测。现行作业规范中,为了严格要求,确保测量成果质量,常以 2 倍中误差作为允许误差。

0.4 测量工作的原则与程序

测量工作不可避免地会产生误差,甚至还会产生错误,为了限制误差的积累传递,保证整体的测量精度,测量工作必须遵循“从整体到局部、先控制后碎部、由高级到低级”的原则进行。

测量工作的程序分为控制测量和碎部测量两步。

遵循测量工作的原则和程序,不但可以减少误差的积累传递,而且可以在几个控制点上同时进行测量工作,既加快了测量的进度,缩短了工期,又节约了开支。

测量工作有外业和内业之分。外业工作主要是指在室外进行的仪器操作,以及观测手簿的记录计算与检核;内业工作主要是指在室内整理并计算外业的测量数据,以及进行绘图工作等内容。

为了防止出现错误,在外业和内业工作中,还必须遵循另外一个基本原则“边工作边校核”,用检核的数据说明测量成果的合格性和可靠性。一旦发现错误或者成果达不到精度要求,必须找出原因返工重测,以保证各个环节测量成果的合格性和可靠性。

0.5 学习的方法与要求

本课程具有理论严密、技术先进、实践性强等特点。课程教学结合在线开放课程建设,采用线下线上混合式教学模式,课前线上知识学习及任务准备,课中线下任务实施及线上互动,课后线上知识巩固及总结提升。通过本课程的学习,应达到掌握现代建筑工程测量的基本理论和基本技能,理解专业术语的基本概念及相互关系,能够将测量技能和建筑工程实际有机结合起来的目标。学习过程中要力求做到以下几点。

1. 自主学习

课程项目结构按照工作过程,遵循由易到难、由单一到综合的学习认知规律排序。因此,从第一个项目开始就要认真投入,课前主动在平台观看微课视频,完成对相关知识点的学习;课上主动参与小组活动,积极思考,完成安排的学习任务。学习中若有不懂不会的问题,应在课堂上及时提问或在平台发起讨论话题,务必在下一个项目开始前弄懂弄会。

2. 加强实践

课程理论知识与实践操作结合紧密,正确使用仪器是基本功。小组活动中要充分利用时间抓紧仪器操作练习,多动手提高仪器操作熟练程度,多动脑思考为什么要这样做,在操作实践过程中加深对理论知识的理解 and 应用。

3. 遵规守矩

测量工作要求实事求是、精益求精,严格遵守相关规范的技术要求,严禁伪造数据。课堂教学为理实一体化模式,需要进行实践操作,严禁穿拖鞋、高跟鞋上课,女生不得穿裙子、露脐装。无论何时何地,仪器都不允许无人看护。

4. 团队合作

测量工作需要团队成员互相配合才能顺利完成。团队成员之间要互相理解,互相配合,互相帮助,团结合作。

5. 职业素养

遵守职业道德,爱岗敬业,忠于职守,具有高度的责任心,严格执行安全操作规程,养成规范化作业的良好习惯。任务结束要做到工完场清,仪器工具清点摆放到位。

学习目标

知识目标

1. 了解水准仪的用途并熟悉其构造。
2. 掌握水准尺的尺面分划及注记特征。
3. 熟悉水准仪的基本操作程序。
4. 理解视差产生的原因并掌握消除方法。

能力目标

1. 能描述水准仪各部件的名称及作用。
2. 会正确安置水准仪并粗平。
3. 能快速照准水准尺并消除视差。
4. 会正确读取水准尺读数。

一切液体在静止状态下其自由表面都呈水平面,这是从古至今水准仪所依据的基本原理。我国水准测量技术的萌芽可追溯到传说中的大禹治水时期,秦汉时期开始广泛使用水准测量方法,并有了从事水准测量的专门技术人员“水工”,到了唐宋时期已经形成了一整套相当完备的水准测量方法^①。那么,在我国盛唐时期的水准工具长什么样?现代的水准仪又有哪些进步和特点呢?让我们通过本项目来探究和学习。

导入案例

唐代水准测量技术

唐代李筌所著兵书《太白阴经》中对当时的水准工具和测量方法有详细的记载。工具的形制和测量方法描述如下。

“水平槽长二尺四寸,两头中间凿为三池。池横阔一寸八分,纵阔一寸,深一寸三分。池间相去一尺四寸,中间有通水渠,阔三分,深一寸三分。池各置浮木,木阔狭微小于池,空三分。上建立齿,高八分,阔一寸七分,厚一分。槽下为转关脚,高下与眼等,以水注之,三池浮木齐起,眇目视之,三齿齐平,以为天下准。或十步,或一里,乃至十数里,目力所及,随置照板度竿,亦以白绳计其尺寸,则高下丈尺分寸可知也。

照板形如方扇,长四尺,下二尺,黑上二尺,白阔三尺,柄长一尺,大可握度,竿长二丈,刻作二百寸二千分,每寸内刻小分,其分随向远近高下立竿,以照板映之,眇目视之,三浮木齿及照板黑映齐平,则召主板人,以度竿上分寸为高下,递相往来,尺寸相乘,则水源高下,可以

^① 冯立升. 中国古代的水准测量技术[J]. 自然科学史研究, 1990(02): 190-196.

分寸度也。”^①

该记载对当时测量地势所用的“水平”(水准仪)进行了详细描述。这套测量工具由三部分组成,即“水平”“照板”“度竿”,如图 1-1 所示。“水平”包括水平槽,水平槽的长度为二尺四寸,两头与中间共凿有三个池子。池子的横向长度为一寸八分,纵向长度为一寸,深一寸三分,池与池间相隔一尺五分,中间有通水渠相连,通水渠宽三分,深度与池深相同。各水池中放有浮木,浮木的宽狭略小于池的宽狭,其厚为三分;浮木上建有“立齿”,齿高八分,宽一寸七分,厚一分。槽下设有可以转动的脚。“照板”是一形如方扇的板,长为四尺,其中下面二尺为黑色,上面二尺为白色,宽为三尺,手柄长一尺。“度竿”即测竿,长二丈,其刻度精确至“分”,共二千分。

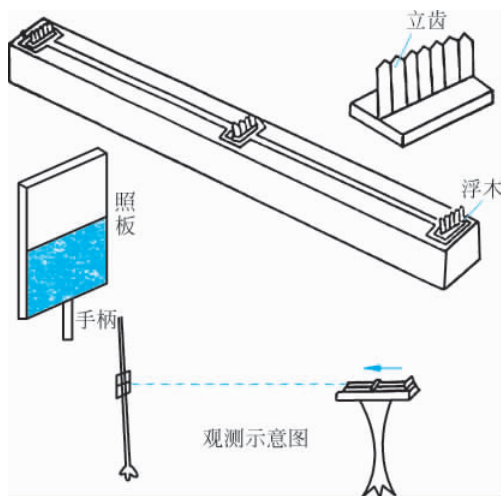


图 1-1 唐代水准测量工具

观测时,首先将水注入水平槽的池子中,三浮木随之浮起,其上的“立齿”尖端则会保持在同一水平线上;然后,观测者即可借立齿尖端水平地眺望远处的“度竿”。由于“度竿”的刻度太小,观测者不能像我们使用现代化水准仪那样直接由望远镜读数,于是间接地利用“照板”巧妙地解决了这一问题,即持“度竿”的人还要握一“照板”,并将“照板”在“度竿”的后方上下移动,当观测者见到板上的黑白交线与其瞄准视线齐平时,则召持板人停止移动,并由持板人记下“度竿”上所对应的刻度。由于“照板”目标较大,因此可以测距离能由十步(唐以后,一步等于五尺)或一里,达十几里目力能及之地。

这套测量工具的使用方法与现在的水准测量大同小异。在整套工具的设计技术方面,充分体现了我国古代劳动人民的聪明才智。其一,是“照板”上的黑白二色的问题。有了其宽达二尺的黑白二色,目标则大,易被观测者发现,但更重要的意义则在于以黑白二色的交线作为观测线,准确可靠,这是现代水准尺上以间隔的黑白或红白二色的交线作刻度线的先行,在测量史上是一次重要的建树。其二,是浮木的数目问题。为什么不用两个(实际上两个就够了)而用三个?这是考虑到在测量过程中,可能因为某些故障浮木不能保持水平而采用的一种校准措施。这些故障有池中水深不够,使浮木“搁浅”;通水渠不畅,使得三池水位

^① 《太白阴经》卷四“水攻具篇 第三十七”。

不平；池框内缘卡塞浮木等。而有了三个浮木，当可及时发现这些故障。同时，三个浮木在外形上不可能做得完全相同，其内部密度也不可能完全相等，故在水中的沉浮程度也不可能完全一致，而如果有了三个浮木，自然也可起到消除这种误差的作用。其三，是关于“立齿”的设计问题。为什么要采用立“齿”，而不用立“板”？这是因为如果采用无齿的板，在观测照板时就会发生这样的现象：或是靠近观测者的立“板”遮住了离开观测者的立“板”，或是离开观测者的立“板”高于靠近观测者的立“板”，两种情况都会导致视线不平。如果采用齿形的板，则可以消除如上现象，因为即使靠近观测者的立齿端部高于离开观测者的立齿端部，由于有齿间空隙，前者也不会遮盖后者，从而可使观测者能从容地调整视线顺利进行观测。



学习任务

任务 1.1 认识并学会使用水准仪

水准仪是在 17—18 世纪发明了望远镜和水准器后出现的。20 世纪初，在制出内调焦望远镜和符合水准器的基础上生产出了微倾水准仪。20 世纪 50 年代初出现了自动安平水准仪；60 年代研制出了激光水准仪；90 年代出现了电子水准仪。微倾水准仪是通过手动调整使水准仪获得水平视线；自动安平水准仪是通过补偿器自动获得水平视线；电子水准仪则是在自动安平水准仪的基础上实现电子读数、自动记录、存储和计算的光机电一体化的高科技产品。

自动安平水准仪与微倾水准仪相比没有水准管和微倾螺旋，使用时只要使圆水准器的气泡居中，借助仪器内的补偿器即可得到水平视线，因此使用这种仪器可大大缩短观测时间。它还具有操作简单、速度快、精度稳定、可靠等优点，因此，该类型仪器被广泛应用于国家三、四等水准测量和一般工程及大型机器安装等水准测量。本书将以目前工程中最常用的国产自动安平水准仪为例进行介绍。

国产水准仪按其精度可分为 DS05、DS1、DS3、DS10 等不同型号，建筑工程测量中最常用的是 DS₃ 型水准仪，其中字母 D 和 S 分别表示“大地测量”和“水准仪”汉语拼音的第一个字母，字母中如含有 Z 则表明为自动安平水准仪；字母后的数字下标表示仪器的精度等级，即每千米往返测量高差中数的偶然中误差，以 mm 为单位，数字越小，精度越高。

1.1.1 水准仪的构造



微课：水准仪的构造

自动安平水准仪主要由望远镜、圆水准器和基座 3 部分组成，其外形及各部件名称如图 1-2 所示。仪器采用精密微型轴承悬吊补偿器棱镜组，利用重力原理安平视线。携带和运输自动安平水准仪时，应尽量避免剧烈振动，以免损坏补偿器。

1. 望远镜

自动安平水准仪的望远镜为内调焦式的正像望远镜，用来精确瞄准远处目标并对水准尺进行读数。它主要由物镜、调焦透镜、补偿器棱镜组、十字丝分划板和目