

建筑施工技术小丛书

# 建筑工程测量

肖 敏 编  
陈兰金

河海大学出版社

随着建筑业改革的深入进行，迫切需要大力提高专业管理和基层施工技术人员的素质，全面加强企业管理和技术管理，提高企业的经济效益和社会效益。对此，城乡建设环境保护部作出了在各省、市建设系统开展对建筑企业管理人员和施工技术人员实行岗位职务培训的决定。为了适应这一形势的需要，我社组织出版了《建筑施工技术小丛书》。该丛书取材实际，内容广泛，深浅得当，适于不同层次的建筑管理和建筑施工人员阅读，尤其对参加岗位职务考核的有关人员具有重要的参考价值。该丛书也可作为有关部门进行岗位职务培训的教材。

该丛书第一辑出版的有：《建筑施工组织与管理》、《地面与屋面工程》、《~~建筑工程测量~~》、《~~建筑粉饰工程~~》、《房屋建筑施工中常见的质量问题》、《~~起重机械~~》、《混凝土质量事故处理》

# 前 言

本书是《建筑施工技术小丛书》的一个分册。内容包括建筑工程测量的基本原理、普通测量仪器的使用和作业方法。

全书共七章，前四章主要介绍建筑工程测量的基本知识以及高差、角度（方向）、距离三项基本测量工作。分别讨论了仪器构造、使用、检验与校正。第五、六章讨论了建筑工程中大比例尺地形图的测绘、地形图在规划设计中的应用等问题。第七章为建筑施工测量，介绍了将设计的工程建筑物放样到实地上的方法。在学习本书以后，使读者对建筑工程测量有较全面的了解。

本书取材结合实际，文字力求浅显，并列举实例和插图说明，因而较适合有关土建类学校及培训班作教材或参考书，也可供建筑勘测及施工单位的技术人员参考。

限于我们的水平与经验，书中可能存在不足之处，请广大读者不吝赐教，以便再版时修正。

编者

# 目 录

|                        |        |
|------------------------|--------|
| 第一章 绪论 .....           | ( 1 )  |
| § 1-1 地球的形状和大小 .....   | ( 2 )  |
| § 1-2 地面点位的确定 .....    | ( 3 )  |
| § 1-3 测量工作的组织原则 .....  | ( 9 )  |
| § 1-4 “测量规范”的介绍 .....  | ( 11 ) |
| § 1-5 测量中常用的度量单位 ..... | ( 12 ) |
| 第二章 水准测量 .....         | ( 16 ) |
| § 2-1 水准测量原理 .....     | ( 16 ) |
| § 2-2 水准测量的仪器和工具 ..... | ( 19 ) |
| § 2-3 水准仪的使用 .....     | ( 24 ) |
| § 2-4 水准测量 .....       | ( 27 ) |
| § 2-5 水准测量的成果整理 .....  | ( 32 ) |
| § 2-6 水准仪的检验与校正 .....  | ( 37 ) |
| 第三章 角度测量 .....         | ( 43 ) |
| § 3-1 水平角测量原理 .....    | ( 43 ) |
| § 3-2 光学经纬仪及其使用 .....  | ( 44 ) |
| § 3-3 水平角观测方法 .....    | ( 53 ) |
| § 3-4 竖直角观测 .....      | ( 58 ) |
| § 3-5 经纬仪的检验与校正 .....  | ( 64 ) |
| 第四章 距离测量及直线定向 .....    | ( 72 ) |
| § 4-1 钢尺量距的一般方法 .....  | ( 72 ) |
| § 4-2 钢尺精密量距的方法 .....  | ( 79 ) |
| § 4-3 直线定向 .....       | ( 86 ) |
| 第五章 测绘大比例尺地形图 .....    | ( 92 ) |

|            |                    |         |
|------------|--------------------|---------|
| § 5-1      | 控制测量               | ( 92 )  |
| § 5-2      | 碎部测量               | ( 103 ) |
| <b>第六章</b> | <b>地形图的应用</b>      | ( 124 ) |
| § 6-1      | 地形图应用的基本内容         | ( 124 ) |
| § 6-2      | 地形图在工程规划设计中的<br>应用 | ( 129 ) |
| <b>第七章</b> | <b>建筑施工测量</b>      | ( 135 ) |
| § 7-1      | 施工测量的概述            | ( 135 ) |
| § 7-2      | 放样的基本工作            | ( 136 ) |
| § 7-3      | 点位放样的方法            | ( 143 ) |
| § 7-4      | 建筑场地施工控制测量         | ( 148 ) |
| § 7-5      | 民用建筑物的施工测量         | ( 154 ) |
| § 7-6      | 工业厂房的施工测量          | ( 159 ) |
| § 7-7      | 烟囱的施工测量            | ( 167 ) |
| § 7-8      | 竣工总平面图的编绘          | ( 169 ) |

# 第一章 绪论

随着生产力的发展，由于国防和国民经济建设的需要，测量学已逐步形成一门完整的、理论与实际紧密联系的、有许多分支的科学，其主要分支：大地测量学、地形测量学、摄影测量学等。近半世纪来，由于建设工程项目的规模不断地扩大，工程建设的内容也日益复杂，它对测量工作提出了相应的要求。于是，在测绘科学的领域里又形成了“工程测量学”这门学科。

工程测量学是研究工程建设在规划设计阶段、建筑施工阶段与经营管理阶段所进行的各种测量工作的。随着四化建设的需要，工业与民用建筑工程象雨后春笋般地蓬勃发展，因此，建筑工程测量已成为工程测量的一个重要部分了。

建筑工程测量的任务有三：一是测图——为规划设计阶段及施工阶段提供地形图，也就是将地面上的地物和地貌位置反映到图纸上去；其次是放样——也称为施工放样，即将图纸上设计好的各种工程建筑物，按设计要求测设到地面上去，并用各种标志表示出来，作为施工的依据；三是变形观测——在运营管理阶段中，应监视工程建筑物的变形，以确保工程的安全。

可见，测量工作贯穿于工程建设的各个阶段。作为工程技术人员，必须懂得测量工作的必要知识和基本技能，以便在工程的各个阶段更主动地进行工作和发挥更大的作用。

## §1-1 地球的形状和大小

测量工作是在地球的自然表面上进行的，而地球表面是极不平坦和不规则的，它有陆地、海洋、高山、盆地和平原。

地球表面上的海洋面积约占71%，陆地面积约占29%。我国西藏与尼泊尔交界处的珠穆朗玛峰高达8843.13米，在太平洋西部的马里亚纳海沟深达11022米，约相差20公里。这样的高低起伏，相对于地球庞大的体积来说，还是很小的。人们把地球总的形状看作是被海水包围的球体，也就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，这个静止的海水面称为水准面。海水有潮汐，时高时低，所以水准面有无数个，而其中通过平均海水面的一个称为大地水准面，它所包围的形体称为大地体。因为水准面很多，实际作为测量基准的面应该选用大地水准面。大地水准面实际上是一个有起伏的不规则的曲面。如果把地表面的形状投影到这个不规则的曲面上，将无法进行测量的计算工作，所以计算工作必须在一个规则的曲面上进行。这个规则曲面的形状要很接近大地水准面，在测量工作中就是用这样一个规则的曲面代替大地水准面作为测量计算的基准面。经过几个世纪的实践，人们逐渐认识到地球的形状近于一个两极略扁的椭球，即一个椭圆绕它的短轴旋转而成的形体，如图1—1所示。这个椭球体的形状和大小与大地体相近，这个形体叫作参考椭球体或简称椭球体。椭球体的元素可以用数字表示，所以采用椭球面作为测量计算的基准面是合适的。

从图1—1中可见，旋转椭球体是由椭圆 $PQP_1E$ 绕短轴 $PP_1$ 旋转而成，其形状和大小，是由它的长半径 $a$ 和短半径 $b$

所决定的，也可以由一个半径和扁率  $\alpha = \frac{a-b}{a}$

来决定。半径  $a$ 、 $b$  及扁率  $\alpha$  叫作椭球体的元素。

根据1978年我国利用卫星观测成果和全国大地测量资料，推算出

适应我国实际情况的参考椭球体元素为：

$$a = 6378143 \text{ 米}$$

$$\alpha = 1 : 298.255$$

由于地球旋转椭球体的扁率很小，因此在地形测量的范围内可把地球作为圆球看待，其半径可取为：

$$R = \frac{1}{3}(a + a + b) = 6371118 \text{ 米}$$

依公里计其近似值为6371公里。

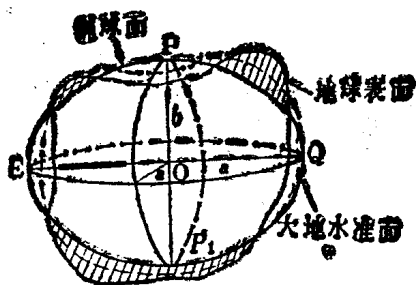


图1-1 地球的形状和大小

## §1-2 地面点位的确定

上节已述，在地形测量学范围内是将大地水准面近似地当成圆球看待。将地面点投影到圆球面上，然后再投影描绘到平面的图纸上，这是很复杂的。在实际测量工作中，在测区面积不大的情况下，往往以水平面直接代替水准面，就是把较小一部分地球表面上的点投影到水平面上来，并确定其位置，使计算和绘图工作大为简化。但是，在多大范围内才容许用平面投影代替球面投影呢？

### 一、地球曲率对水平距离的影响

以下假定大地水准面为一个球面。图1-2中设  $FAE$

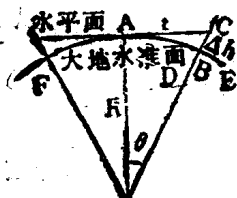


图1-2 地球曲率对水平距离及高差的影响

为水准面， $AB$ 为其上的一段圆弧，设长度为 $D$ ，所对圆心角为 $\theta$ ，地球半径为 $R$ 。另自 $A$ 点作切线 $AC$ ，设长为 $t$ ，如将切于 $A$ 点的水平面代替水准面，即以相应的线段 $AC$ 代替圆弧 $AB$ ，则在距离方面将产生误差 $\Delta D$ ，由图可得：

$$\Delta D = AC - AB = t - D,$$

其中  $AC = t = R \tan \theta,$

$$AB = D = R\theta,$$

将 $\tan \theta$ 展开成级数，即 $\tan \theta = \theta + \frac{1}{3}\theta^3 + \frac{2}{15}\theta^5 + \dots$  因 $\theta$

值一般很小，故可略去五次方以上的各项，并以 $\theta = \frac{D}{R}$ 代入 $\Delta D = R(\tan \theta - \theta)$ 中则得：

$$\Delta D = R \frac{1}{3} \theta^3 = \frac{D^3}{3R^2} \quad (1-1)$$

$$\frac{\Delta D}{D} = \frac{1}{3} \left( \frac{D}{R} \right)^2 \quad (1-2)$$

当取 $R = 6371$ 公里，以不同的 $D$ 值代入上式，可算得相应的 $\Delta D$ 值和 $\frac{\Delta D}{D}$ 值列在表1—1中。

表1-1 地球曲率对水平距离及高差的影响

| 距 离<br>(公里) | 距离误差 $\Delta D$<br>(厘米) | 距离相对误差<br>$\frac{\Delta D}{D}$ | 高程误差 $\Delta h$<br>(厘米) |
|-------------|-------------------------|--------------------------------|-------------------------|
| 0.1         | 0.0000008               | 1/1250000万                     | 0.08                    |
| 1           | 0.00082                 | 1/12500万                       | 7.8                     |
| 10          | 0.82                    | 1/120万                         | 780                     |
| 60          | 102.68                  | 1/6万                           | 19623                   |

由上表可知,当水平距离为10公里时,以水平面代替水准面所产生的相对误差为 $\frac{1}{1,200,000}$ 小于现在最精密距离丈量的容许相对误差 $\frac{1}{1,000,000}$ 。因而可以得出这样的结论:在半径为10公里的圆面积内进行长度的测量工作时,可以不必考虑地球曲率。即实际沿圆弧丈量得的距离,作为水平距离,其误差可忽略不计。

## 二、地球曲率对高差的影响

地面点到大地水准面的铅垂距离,称为该点的绝对高程(即海拔),从而我们知道,高程的起算面是大地水准面。若以水平面代替水准面去进行高程测量时,必然含有因地球曲率而产生的高程误差影响。如图1-2所示, A、B两点在同一水准面上,其高程相等。如以水平面代替水准面,则B点移到C点,因而产生了高程误差BC,以 $\Delta h$ 表示,由于地球的半径R很大,而距离D较小,即 $\theta$ 角较小,所以 $\Delta h$ 值可用弦切角 $\frac{\theta}{2}$ 所对的弧长来表示,即

$$\Delta h = \frac{\theta}{2} D$$

若将 $\theta = \frac{D}{R}$ 代入上式,则

$$\Delta h = \frac{D^2}{2R} \quad (1-3)$$

取 $R = 6371$ 公里和用不同的D值代入上式,算得相应的 $\Delta h$ 值列于表1-1中。从表中可见,当距离为0.1公里即100米时,在高程方面引起的误差约0.1厘米,当距离为1公里时,在高程方面引起的误差约7.8厘米,而工业建筑工程

中，高程测量的精度在一般情况下 1 公里内不允许超过 1~2 厘米，所以其影响是很大的。因而地球曲率的影响对高差而言，即使在很短的距离进行高程测量也必须考虑此项影响。

### 三、地面点位确定方法

地面上各种地形都是由一系列的连续不断的点所组成，所以测量工作实质上是确定地面点的位置，包括平面位置和点的高程。

#### (一) 平面位置的确定

##### 1. 地理坐标

地理坐标是用经纬度表示地面点位置的球面坐标。图

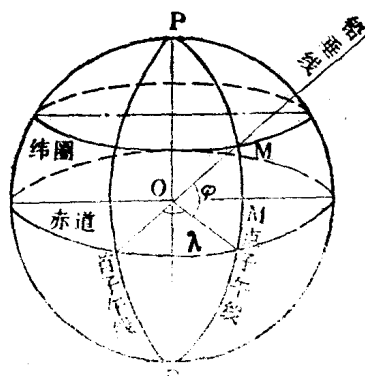


图1-3地理坐标系

1-3所示，地面上任意一点，例如M点的地理坐标是以该点的经度和纬度来表示的。通过M点的子午面与首子午面间的两面角称为经度，以 $\lambda$ 表示。以首子午线(起始子午线)为准，自 $0^\circ$ 向东 $180^\circ$ 称东经，自 $0^\circ$ 向西 $180^\circ$ 称西经。通过M点的铅垂

线(法线)与地球赤道面间的交角称纬度，以 $\varphi$ 表示。纬度从赤道起算，向北 $0^\circ \sim 90^\circ$ 为北纬，向南 $0^\circ \sim 90^\circ$ 为南纬，我国疆域全部在赤道以北，各地的纬度都是北纬。例如北京的地理坐标为东经 $116^\circ 23'$ ，北纬 $39^\circ 54'$ 。用天文测量的方法可以独立测定任一点的经纬度。

## 2. 平面直角坐标

对于小范围的地区，如半径不大于10公里的地区，可将该部分的球面视为水平面，一般在测区的西南角设置一个原点 $O$ ，令通过原点 $O$ 的南北线为 $x$ 轴，称纵轴，与 $x$ 轴垂直通过原点 $O$ 的东西方向线为 $y$ 轴，称横轴，如图1-4所示。原点坐标值可令其等于零或者任意一整数，坐标轴将平面分为四个部分，称为四个象限，象限的顺序从东北角开始按顺

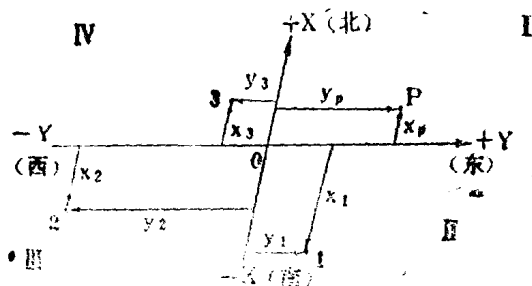


图1-4 平面直角坐标系

时针方向排列为 I、II、III、IV 象限，在各象限内点的纵横坐标值，规定由原点向上、向右为正（箭头方向），向下、向左为负，任何一点 $P$ 的位置可用 $x_P$ 、 $y_P$ 来表示。测量上使用的平面直角坐标与数学上常用的直角坐标有所不同。测量上将南北方向的坐标定为 $x$ 轴，东西方向的坐标定为 $y$ 轴，测量上的象限顺序也与数学上的象限顺序相反。这是因为测量工作中规定所有直线的方向都是以纵坐标轴北端顺时针方向量度的，这样的变换，既不改变数学公式，同时又便于测量中的方向和坐标的计算。

### （二）点的高程与1985年国家高程基准

地面点沿铅垂线方向到大地水准面的距离称为绝对高程

或称海拔，简称高程。图1-5中 $H_a$ 及 $H_b$ 都是绝对高程。过去我国采用青岛验潮站1950年~1956年观测成果推算的黄海平均海水面，作为全国的高程起算基准面，故称“1956年黄海高程系”。在青岛的一个山洞里建立水准原点，其高程为72.289米。根据目前的复查，发现该高程系存在统计上的错误，且验潮资料过短。新的大地水准面命名为“1985年国家高程基准”。位于青岛的中华人民共和国水准原点按新的基准起算的高程为72.2604米。全国布置的国家高程控制点，都应以这个新的水准原点为准。如果某项建设工程远离已知高程的国家控制点或为了施工方便起见，也可临时以假设（任意）水准面为准，即指定工地上某个固定点的

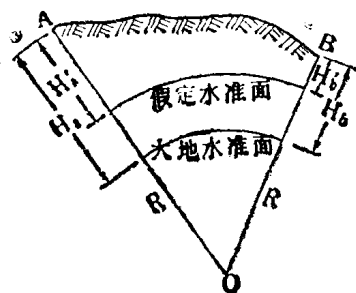


图1-5 点的高程系

假设高程，则该工区的各点高程都是以同一假设水准面为准，这种高程称为相对高程。将来如有需要，只须与国家高程控制点联测，再经换算，即成绝对高程。

#### 四、点与点之间的关系

图1-6所示， $M$ 、 $N$ 为地面上已建立的控制点，地面点 $A$ 和 $B$ 在水平面上的投影是 $a$ 和 $b$ 。在实际工作中并不是直接测出它们的坐标和高程，而是通过实际观测得到水平角 $\beta_1$ 、 $\beta_2$ 和平距 $D_1$ 、 $D_2$ 以及点

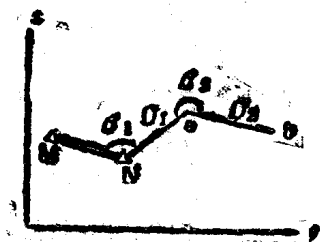


图1-6 地面点位间的关系

与点之间的高差，再根据 $M$ 、 $N$ 点的已知坐标、方向和高程，推算出 $a$ 和 $b$ 的坐标和高程，以确定它们的点位。

从而可知，地面点间的位置关系是以水平距离、水平角和高程来确定的。所以高程测量、水平角测量和丈量水平距离是测量学的基本内容。高程、水平角和水平距离是确定地面点位的三个基本要素。

### §1-3 测量工作的组织原则

测绘地形图时，是根据相应的测量规范、各种比例尺的地形图图式和业务单位的具体要求进行的。要将地面上的地物、地貌表示到图纸上来，也就是如何把广阔的、复杂的地面情况测绘成地形图或平面图。

由于测区的范围大小不一，小的可能不到一平方公里，大的可达数十平方公里，按一定比例尺缩小后，通常也无法在一张图纸上表示出来。测图时，要求在一个测站点（安置测量仪器进行测绘的点）上将该测区的所有地物、地貌测绘出来也是不可能的。因此，进行地形测图时，只能连续地在一个一个测站上施测，然后拼接出一幅完整的地形图。当一幅图不能包括该地区的面积时，还必须先在该测区建立一系列的测站点，再利用这些点将测区分成若干幅图，并分别施测，最后拼接出该测区的整个地形图。

这种先在某测区建立一系列测站点，然后分别施测地物、地貌的方法，就是先整体后局部的工作原则，又称为从控制到碎部的原则。正如我们盖房子要先打墙基、安装柱、梁等作为骨架，然后再砌墙、装门、窗一样。

在地形测量中，先选择一些具有控制意义的点子作为骨

架，如图1-7中的A、B、C、……、F等点，用比较精密的仪器和方法把它们的位置测定出来，然后根据这些点再测定房子、道路等的轮廓点。这些测站点对测区起着控制作用，组成了测区的骨干，是测图的依据，我们称这些点为图根控制点，简称图根点。而房子、道路、山脊、山谷等轮廓点称地物（或地形）特征点，又称碎部点。对图根控制点的测量，叫做图根控制测量，对碎部点的测量，叫做碎部测量，又称地形测图。

遵循“由整体到局部”或“先控制后碎部”的原则，就可以防止测量误差的积累，保证测图的精度，而且可以分幅测绘，便于平行作业，加快测图速度，从而使整个测区连成

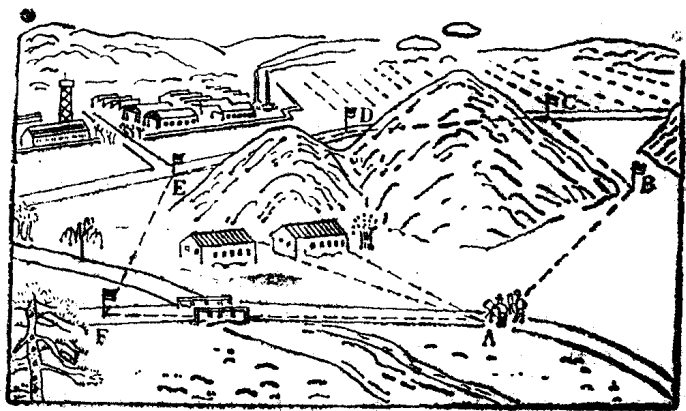


图1-7 地形测图

一体，获得整个地区的地形图。

为了保证测量成果的质量，避免错误，要求随时进行检查，没有对前一段工作成果的检查，就不能进行后一段的工作，这是测量工作必须遵循的又一原则。

如果测区更大，象一个县、一个城市乃至全国范围，要使地形图保证精度，连成一个整体，那就要建立比图根控制点的精度还高的控制点。这时需建立高级控制点乃至国家控制点，测定高级控制点的测量工作称为控制测量，在高级控制点的基础上，建立图根控制点，它的精度比高级控制点低，是高级控制点的加密，也就是我们先前所讲的测站点，它是地形测图的依据，每一幅图内，按不同的测图比例尺，必须有一定数量的图根控制点，以便测量碎部和绘制成地形图。

## §1-4 “测量规范”的介绍

为了使测量的成果能达到一定的精度，并使各测量单位有统一的作业标准，测量主管部门对各种测量工作制定了一系列的操作规定，这些规定叫作测量规范。

测量规范是按照一定的测量原则而制定的详细操作规程。例如对控制测量而言，如各级控制的布设原则，具体布设方法，标点的式样，施测方法，应用的仪器，仪器的检验方法，测量之限差，记簿格式，计算方法和格式等都有规定。对碎部测量而言，如测站的布设、需要测哪些地物、图式符号、地形点的密度及成图的整饰等也都有详细的规定。

测量规范中不仅包括一些技术的细节，对于成果的风格、工作程序也有详细的规定，这样由不同的人员测出的成果，在格式上也能得到统一。

测量规范中技术规定，大多根据误差理论和实际的经验而制定，因而在理论上是严密的，技术上是合理的。测量人员必须严格遵守规范来进行测量工作，任何对规范的改变都

需要得到上级领导部门的批准，不允许自行改动。

随着科学的发展，新技术和新仪器的出现，测量主管部门应及时对测量规范作相应的修订。

国家对全国性测量工作或面积超过50平方公里以上的地区，颁发了统一的测量规范。目前，国家颁发的控制测量规范有：国家三角测量和精密导线测量规范、国家水准测量规范和有关地形测量规范、各种比例尺地形图的图式，国家建委等部门也颁发了“工程测量”及“城市测量规范”。对于面积小于50平方公里的地区，各部门主管机构为所属勘测设计单位制定了相应的测量规范和细则，称为部颁标准。对面积更小的地区，也可根据工程需要和实际情况制定技术规定。测量人员必须培养遵守测量规范的良好品德，认真、严肃对待测量成果，以保证测量工作的统一质量标准 and 统一的格式。各种测量成果应经过层层检查与验收，这个过程也是用规范规定的标准对测量成果进行对照衡量，最后对成果、成图给予恰当评价的过程。

## §1-5 测量中常用的度量单位

测量工作中应用的度量单位可分为长度、面积和角度三种。

### 一、长度单位

我国采用国际通用的米制，基本长度为米。

1 米 (m) = 10 分米 (dm) = 100 厘米 (cm) = 1000 毫米 (mm)；

1 公里 (km) = 1000 米 (m)；

公制和市制的换算关系为