

高等学校交流讲义

測 量 学

CELIANGXUE

北京大学地质地理系測繪教研室編
南京大学地理系地图学教研組

人 民 教 育 出 版 社

高等学校交流讲义



測 量 学

CELIANGXUE

北京大学地质地理系測繪教研室編
南京大学地理系地图学教研組

人民教育出版社

本书主要是根据武汉测绘学院测量学教研组编著的地形测量学,北京矿业学院普通测量教研组编的普通测量学及 H. B. 邓靖著的测量学而加以改编的。全书共分十一章,对测量学的基本理论作了必要阐述,同时并扼要介绍了仪器操作程序,以及适用于地理调查的各种测量的作业方法。

本书可作为综合大学、高等师范学校地理各专业及地质各专业用教材。

簡 装 本 說 明

目前 850 × 1168 毫米規格紙張較少,本书暫以 787 × 1092 毫米規格紙張印刷,定价相应减少 20%。希鉴諒。

測 量 学

北京大学地质地理系测绘教研室 編
南京大学地理系地图学教研组

人民教育出版社出版 高等学校教学用书編輯部
北京宣武門內承恩寺 7 号
(北京市书刊出版业营业許可証出字第 2 号)

商 务 印 书 館 上 海 厂 印 装
新 华 书 店 上 海 发 行 所 发 行
各 地 新 华 书 店 經 售

統一書号 13010·1005 开本 787×1092 1/32 印張 7 12/16
字數 189,000 印數 1—4,300 定价(5) 0.80
1961 年 8 月第 1 版 1961 年 8 月上海第 1 次印刷

目 录

第一章 緒論	1
§ 1-1. 測量學及其在社會主義建設中的作用	1
§ 1-2. 測量學的發展簡史	3
§ 1-3. 測量上常用的度量單位	5
§ 1-4. 地球形狀和大小的概念	6
§ 1-5. 地面點位置的確定 地理坐標和高程	8
§ 1-6. 用水平面代替水准面的限度	10
§ 1-7. 平面圖、地圖、地形圖和断面圖	11
§ 1-8. 比例尺	12
§ 1-9. 測量工作概念	14
第二章 直綫丈量與定向	17
§ 2-1. 地面上點的標定和直綫定綫	17
§ 2-2. 直綫丈量的工具	20
§ 2-3. 直綫丈量	22
§ 2-4. 直綫定向 方位角和象限角	26
§ 2-5. 坐標方位角(方向角)	31
§ 2-6. 羅盤儀及其使用	32
§ 2-7. 羅盤儀的檢驗與校正	35
第三章 經緯儀及水平角觀測	38
§ 3-1. 水平角觀測原理	38
§ 3-2. 經緯儀	39
§ 3-3. 經緯儀的安置	49
§ 3-4. 水平角觀測與計算	50
§ 3-5. 經緯儀的檢驗與校正	54
§ 3-6. 經緯儀的保養	61
第四章 誤差理論的一般知識	62
§ 4-1. 誤差的來源和分類	62
§ 4-2. 偶然誤差的性質	63
§ 4-3. 算術平均值原理	65

§ 4-4. 衡量精度的标准	66
§ 4-5. 最或是误差及其特性	68
§ 4-6. 算术平均值的中误差	69
§ 4-7. 极限误差及相对误差	70
§ 4-8. 数的凑整	72
第五章 平面控制测量	74
§ 5-1. 全国性控制网的概念	74
§ 5-2. 经纬仪导线测量的外业工作	78
§ 5-3. 经纬仪导线测量的内业工作	80
§ 5-4. 小三角测量的外业工作	90
§ 5-5. 小三角测量的内业工作	90
第六章 高程测量	93
§ 6-1. 高程测量的概念	93
§ 6-2. 水准测量原理	94
§ 6-3. 水准仪和水准尺	97
§ 6-4. 水准测量实施方法	102
§ 6-5. 三角高程测量	104
§ 6-6. 视距测量原理	110
§ 6-7. 用视距法测定水平距离和高差	115
§ 6-8. 自动视距仪	118
§ 6-9. 高程路线平差	120
§ 6-10. 气压高程测量原理	123
§ 6-11. 气压高程测量的施测	126
第七章 平板仪地形测量	131
§ 7-1. 概述	131
§ 7-2. 平板仪及其安置	132
§ 7-3. 图解三角网及其高程的测定	136
§ 7-4. 平板仪导线	139
§ 7-5. 测图前的准备工作	141
§ 7-6. 测站点	144
§ 7-7. 等高线的特性与绘制	147
§ 7-8. 平板仪碎部测图	151
§ 7-9. 小平板仪测量	155
§ 7-10. 经纬仪配合小平板仪的测图	156
第八章 航空象片和它的应用	157
§ 8-1. 航空摄影测量的概说	157

§ 8-2. 航摄像片的特性及其比例尺	160
§ 8-3. 编制象片略图和象片平面图的概念	167
§ 8-4. 航空象片的立体观察和立体量测	169
§ 8-5. 航摄像片的判读与调绘	174
§ 8-6. 航空象片在地理调查中的作用	180
第九章 草测	182
§ 9-1. 草测的意义	182
§ 9-2. 草测的定向与测角	182
§ 9-3. 距离的测定	183
§ 9-4. 高程的测定	188
§ 9-5. 草测的实施	192
第十章 地理性质的测量	195
§ 10-1. 低精度经纬度的测定	195
§ 10-2. 断面测定	199
§ 10-3. 地下水位的测定	200
§ 10-4. 河流断面测定及河底等高线的测绘	202
§ 10-5. 微地貌测定	205
§ 10-6. 定位观测	206
§ 10-7. 地图修测	208
§ 10-8. 填图	209
第十一章 地形图的应用	211
§ 11-1. 地形图的概念	211
§ 11-2. 地图的分幅及编号	212
§ 11-3. 地图投影的概念与地图格网	218
§ 11-4. 地图的定向	221
§ 11-5. 地形图的应用	223
§ 11-6. 在地形图上量测长度	230
§ 11-7. 面积计算	232
§ 11-8. 土方计算	239

第一章 緒論

§ 1-1. 測量學及其在社会主义建設中的作用

測量學是一門研究地球形狀和大小的科學。測量學和其他科學一樣是由于人類生產需要而產生的，它又隨着人類歷史的演進而逐步發展和充實起來。最初人類生產上只要求了解地面個別部分的形狀和大小，繼而因生產技術改進需要灌溉等，要求了解地面起伏情況，測量學就開始研究地面高低的問題，逐漸形成了**地形測量學**。隨着生產範圍日漸擴大，要求測量的地區也日益增大，使得以前只適用於小範圍的測量方法已不能滿足生產需要。為了研究大面積的形狀和大小，本可將這個區域分成幾個較小的部分進行測量；但當要求整個地區全貌和連接各個單獨地區成為一個嚴整的地區時，以前的測量方法是無法解決了。**大地測量**是為了滿足生產上這種需要而產生的，它的基本任務是研究整個地球形狀和大小。隨着人類生產力的日益發展，對測量的要求也日漸繁重，若用以前的方法來研究地面形狀大小和高低起伏，就顯得費時曠日又不能滿足生產需要。在二十世紀初，航空事業與攝影技術已得到發展，就促使測量學能利用飛機上的攝影機對地面攝影來了解地面的情況，這就是**航空攝影測量學**，它的目的和地形測量學一樣。測量學以後為了滿足城市建設，各種工礦企業及農業生產上的需要，逐漸發展成專為某種專業服務的測量學，這就是各種**工程測量學**。利用測繪所得的成果，研究如何編制和印刷出版各種不同比例尺的普通地圖和專門圖，這一門專門的科學就是**地圖學**。

从上面的簡單介紹，我們知道測量學是在人類生產鬥爭實踐的基礎上產生的，而又在服務於社會生產中不斷地得到充實和發展的。在我國社會主義計劃經濟的條件下有遼闊廣大的地區需要建設，無窮無盡的天然財富需要開發，測量學在解決這些任務中是十分重要的。為了國民經濟建設需要，必須合理地配置國家的生產力，如居民地的布置，交通路線的選擇，大面積的灌溉，各種大型建築工程的施工，地下資源的開采，地理調查，農業中的土壤、植物考查，土地整理，森林的調查及經營等等，無不需用地圖和需要測量學這一門科學的幫助。這充分說明了測量學在社會主義建設中的作用。

解放十多年來，在黨的英明領導下，我國的各項建設事業都取得了高速度的發展和輝煌的成就，測量工作在祖國的各項建設中起到了先鋒作用。人們稱測量工作者是祖國各項建設事業的尖兵，這決不是偶然的。在農業方面進行土地的規劃與整理，農田水利的建設，荒地的開墾和經營等工作中都要用到地圖及需要進行專門的測量工作。例如要完成開墾荒地計劃，首先就需要測量工作者進行艱苦複雜的勞動。長江大橋的建設，從橋址的選擇到精確地測定橋址，在千餘米古稱天塹的長江上測定其寬度和兩岸的高差，橋墩位置和橋梁軸綫的放樣與安裝等，都需要很高的精確度。其他如荊江分洪工程，三門峽水利樞紐等偉大工程的設計施工中，測量工作都起着極其重要的作用。測量工作不僅為各類工程在設計工作中提供了可靠的原始資料，以及在施工過程中保證正確的放樣；而且在工程竣工後還進行精確的觀察，確定工程建築物的變形，以保證工程的安全，並提供科學研究的重要數據。在地質勘探中，當勘探各類礦藏時，地圖是地質人員不可缺少的伴侶。因為當地質人員填繪勘探礦產的資料，擬訂實施開采計劃以及興建各種采礦企業和礦井時都必須有精確的地圖，並要進行專門的測量

工作。解放以來我國的城市建設有了很大的邁進，測量工作在城市建設中也起了很重要的作用。當進行城市規劃和整理，建設城市交通路線，敷設各種溝管和清丈土地時都要用地圖及進行專門的測量工作。在林业建設方面，清查森林資源、綜合調查設計、采伐運輸綫路勘察和綠化、造林等工作中，測量工作成為不可缺少的先行，它按照各種不同的需要提供測量成果，保證了林业建設的順利開展。

地理工作者對測量科學知識的要求也是很迫切的。在地理調查勘測中，如測定地下水位深度，河床断面，微地形的測定，定位站的觀測等，都要掌握測量的基本技能，而航空象片和地形圖的應用，更促進地理調查研究的進展。

測量學無論在國民經濟和國防建設上，在科學研究方面都起着積極的作用，它為社會主義建設事業提供了極其寶貴的設計資料。

§ 1-2. 測量學的發展簡史*^①

在人類歷史發展過程中，由於人們在經濟上、政治上、文化上的需要，測量學很早就建立起來，並隨着人類歷史的發展而不斷發展着。古代埃及的尼羅河常常洪水氾濫；在洪水退後泥沙掩沒了土地邊界，需要進行測量來重新測定。古代希臘人繼承和發揚了埃及的文化，在發展科學上取得了很大的成就。如希臘人接受並改進了幾何學，從而促進了測量學的發展。在公元前六世紀提出了大地當作球形的假定，編制了第一幅地圖和創制了天球儀。首先利用圓周測角。公元前二世紀初步確定了地球的形狀和大小。編制了作為測地規範的測地學。開始用天文方法測定緯度。公元七世紀中國的指南針傳至歐洲，為測定方向作出了卓越的貢獻，直到現

① 凡各節標題後注有*號的，可根據具體要求，不講、少講，或改作實習。

在，用磁針定向在測量上仍起着一定的作用。1616 年左右望遠鏡的發明，為測量工作提供了極有用的工具。此後測量儀器和測量方法得到不斷的改進，使測量學的內容逐漸提高和充實起來，但仍沒有擺脫手工業生產的範疇。第一次世界大戰期間，由於戰爭的需要，航空測量初次得到了應用，戰後這種方法逐步地應用於一般的測量工作。由於近代光學和電子科學的發展，測量科學在應用這些新技術方面已取得了很大的成就（如採用光速測距，雷達航空測量和電子計算技術等）。¹

蘇聯在十月革命勝利後，由於黨和政府的重視與社會主義建設的需要，測繪事業得到了蓬勃的發展。偉大的革命導師列寧在 1919 年 3 月 15 日親手簽署了成立蘇聯測繪總局的命令。1928 年蘇聯建立了中央測繪科學研究所。近四十多年來，蘇聯的大地測量工作滿足了科學研究和測圖工作的要求。在傑出的蘇聯大地測量學家弗·恩·克拉索夫斯基領導下，用蘇聯和其他國家的大地測量成果求出了到目前為止最精確的地球形狀和大小的原素。1930 年起蘇聯就大力採用航空測量方法，不論在測量方法，儀器製造方面都有很多卓越的發明和貢獻。蘇聯有許多培養測繪幹部的高等和中等學校，尤其是巨型電子計算機的製成人造星體的上天為測量科學提出了嶄新的研究課題。總之不論從測繪工作的成就，測繪科學的發展，測繪幹部的數量和質量等任何方面看來，蘇聯都毫無遜色的站在世界的最前列，是任何資本主義國家所望塵莫及的！

我國是世界上的文化古國，祖國人民對世界文化的發展作出了卓越的貢獻，測量術在我國發展得也很早。早在公元前 2000 多年前，相傳夏禹治水所用的“准、繩、規、矩”即為實測的工具。自殷商起即設置專門官吏來管理圖籍。公元前四世紀即戰國時代，我國已利用磁石製成了世界最早的指南工具稱為“司南”。後漢（約

公元二世紀初張衡造渾天儀為天文觀測史上留下了光輝的一頁。西晉(公元三世紀)裴秀綜合前人的經驗,所編“制圖六體”是世界上最早的制圖規範。劉徽著重差術,是世界上早期的地形測量規範。唐代(公元八世紀)在今河南一帶,用“水準繩墨”丈量距離,在開封一帶進行了世界上第一次子午綫測量。至十一世紀,我國已有四種指南針的裝置方法,至今猶為測量定向的工具。元代(十三世紀)郭守敬發起測量全國緯度的計劃測定了緯度 27 點。清康熙(十八世紀)測全國各省重要城市的緯度。清朝封建統治被推翻後,國民黨反動派只顧賣國殃民,根本談不上進行建設,測量事業當然也不會發展。就是當時僅有的一點測量工作所遺留下來的成果也是絕大部分質量低劣,根本不能滿足今日我國社會主義經濟建設的需要。

中華人民共和國的成立使我國測繪事業進入了新的發展階段。由於黨和人民政府對測繪事業的高度重視,我國廣大測繪工作者艱苦的努力,促使我國測繪事業得到了史無前例的高速發展,並取得了偉大的成就。

§ 1-3. 測量上常用的度量單位*

測量工作中常用的度量單位可分為長度、面積及角度三種:

(一)長度單位 國際通用的長度單位為米。我國除了用米外,一般群眾還習慣以市尺為長度單位。

$$1 \text{ 米(m)} = 10 \text{ 分米(dm)} = 100 \text{ 厘米(cm)} = 1000 \text{ 毫米(mm)}$$

$$1 \text{ 公里(km)} = 1000 \text{ 米}$$

$$1 \text{ 米} = 3 \text{ 市尺}$$

$$1 \text{ 公里} = 2 \text{ 市里}$$

$$1 \text{ 市里} = 500 \text{ 米} = 1500 \text{ 市尺}$$

(二)面積單位 面積的單位是米²。大面積用公頃、公畝或公

里²。在农业上也用市亩为面积单位。

$$1 \text{ 公頃} = 100 \text{ 公亩} = 10000 \text{ 米}^2$$

$$1 \text{ 公亩} = 0.15 \text{ 市亩} = 100 \text{ 米}^2 \cdot 900 \text{ 市尺}^2$$

$$1 \text{ 市亩} = 6 \frac{2}{3} \text{ 公亩} = 6000 \text{ 市尺}^2 = 666 \frac{2}{3} \text{ 米}^2$$

$$1 \text{ 公里}^2 = 100 \text{ 公頃} = 1500 \text{ 市亩}$$

(三)角度单位 测量上常用的角度单位为六十等分制的度。一圆周分为 360° , $1^\circ = 60'$, $1' = 60''$ 。有的国家用十进制的新度, 每圆周为 400^g , 每一直角为 100^g , 每 g 为 100^c , 每 c 为 100^m 。

在测量学中推导公式时常常用弧度表示角度的大小。角度以弧度计等于弧长与半径之比。与半径相等的一段弧长所对的圆心角作为度量角度的单位, 即一个弧度。角的度数与弧度的关系如下:

$$\alpha^\circ = \frac{180^\circ}{\pi} \hat{\alpha} = \rho^\circ \times \hat{\alpha}$$

$$\alpha' = 60 \times \rho^\circ \times \hat{\alpha} = \rho' \times \hat{\alpha}$$

$$\alpha'' = 60 \times \rho' \times \hat{\alpha} = \rho'' \times \hat{\alpha}$$

$$\hat{\alpha} = \frac{\alpha^\circ}{\rho^\circ} = \frac{\alpha'}{\rho'} = \frac{\alpha''}{\rho''}$$

$$\rho^\circ = 57^\circ.29577795 = 57^\circ 17' 44''.806$$

$$\rho' = 3437'.747 \approx 3438'$$

$$\rho'' = 206264''.8 \approx 206265''$$

§ 1-4. 地球形状和大小的概念

为了对地球形状的概念作初步了解, 可以将地球的形状看作是一个圆球。地球表面有高山、深谷、平原等, 在地表面较低洼的地方充满了水而成为河流、湖泊和海洋。由于地球各个不同地区进行子午线和纬度弧长的测量, 结果证明地球的形状不是一个真

正的圓球，而是一个沿着赤道稍稍膨大和在两极之間略为扁平的橢圓体。

在地球表面上，海洋的面积約占 71%，大陆的面积約占 29%。就整个地球的大小來說陆地高出海洋面并不十分显著，如地球上最高的山是我国西藏地区的珠穆朗瑪峰，它高出海水面也不到十公里，而地球的概略半徑为 6000 多公里，所以这种隆起可以略而不計。在这种情况下，以靜止的海水面，即沒有潮汐沒有波浪的海水面，假想其延伸而通过大陆和島屿后所圍成的形体作为整个地球的形狀。这个靜止的海水面称为水准面。水准面有无数个，以其中通过平均海水面的一个称为大地水准面。水准面的特性为：通过水准面上任一点的鉛垂綫都在这点与水准面相垂直。由物理

学中知道，鉛垂綫的方向取决于地球内部质量的吸引力。又因地球内部质量分布不均匀而引起鉛垂綫方向的变化，以致大地水准面是一个十分复杂而不規則的图形。关于大地水准面究竟接近一个什么样的数学图形的問題，在測量历史上曾占有很重要的地位。現在在很

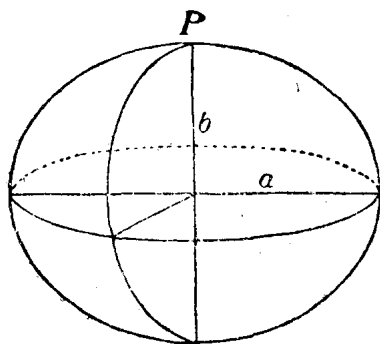


图 1-1.

多实际場合中为了計算方便，就最近似地将大地水准面当作一个圓球看待。較為精密的研究說明了大地水准面接近于一个繞其自轉軸（短軸）旋轉的旋轉橢圓体（又称地球橢圓体）（图 1-1）。

大地水准面和地球橢圓体面是互相交錯的，有的地方大地水准面在地球橢圓体面的上面，有的地方又在它的下面，但差数一般不超过 50 米。

地球的大小通常用两个半徑，长半徑 a 和短半徑 b ，或由一个

半徑和扁率 α 來決定,上述的 a, b, α 稱為地球橢圓體的元素。

$$\alpha = \frac{a-b}{a} \quad (1-1)$$

數世紀來許多學者曾分別測算出地球橢圓體大小的數值,下表所列為幾次最著名的測算成果:

表 1-1.

計 算 者	a	b	α	年代和国家
	(以米計)			
白 塞 尔	6377397	6356079	1:299.2	1841 德国
海 福 特	6378388	6356903	1:297.0	1909 美国
克 拉 索 夫 斯 基	6378245	6356863	1:298.3	1940 苏联

蘇聯從1946年起採用了弗·恩·克拉索夫斯基教授領導下所計算的地球橢圓體之成果。我國解放前採用海福特的成果,自1949年後亦採用克拉索夫斯基的地球橢圓體成果。因為根據世界各國大地測量成果而推算的地球橢圓體元素值,就目前情況而論克拉索夫斯基的成果是最可靠的。在地形測量學中把地球的形狀當圓球看待,其半徑為6371公里。

§ 1-5. 地面點位置的確定 地理坐標和高程

確定地表面上點的位置,通常是求出其對於大地水準面的關係。由於地表面是高低起伏不平的,因此要確定地表面點的位置時,必須把它們投影到大地水準面上來研究。最常用的一種投影方法是把每個地面點沿鉛垂線的方向投影到大地水準面上。除此以外,要完全確定地面點的位置還必須要把各投影線段的長度,即各地面點沿鉛垂線到大地水準面的高度確定出來。因此研究地球表面點的位置問題可分為地面點在大地水準面上投影位置的確定和地面點到大地水準面的高度的確定。

地面点在大地水准面的投影位置是用地理坐标**經度**和**緯度**来表示的。

若把大地水准面当成一个椭球体或圆球来看待,則垂直于地球旋轉軸的各平面与球面的交綫称为**緯圈**或**平行圈**,其中經過球心的一个緯圈叫做**赤道**。經過任意地面点和南北两极的平面与球面的交綫称为**子午圈**,国际公认經過英国格林尼治天文台的子午圈作为起始子午圈,或称首子午圈。

如图 1-2 某地面点 M 的緯度是通过該点的鉛垂綫 MZ 与赤道平面 EQ 所成的交角。假定地球是一个圆球,那么地面点的緯度就可以沿該点的子午圈用赤道至該点的一段弧长 M_0M 确定之。緯度通常以 φ 表示,在赤道以北者称为北緯,在赤道以南者称为南緯,从赤道算起向南北各由 0° 到 90° 。

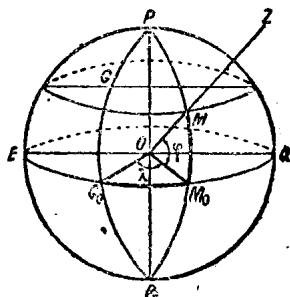


图 1-2.

某地面点 M 的經度是通过該点的子午圈平面与起始子午圈平面之間的两面角,如图 1-2 所示的角 G_0OM_0 ,經度通常以 λ 表示之。从起始子午圈向东数 0° 到 180° 之間称为东經,向西数 0° 到 180° 之間称为西經。

前面已說明要确定地面点的位置,除了用地理坐标确定了地面点在大地水准面上的投影位置以外,还要确定地面点到大地水准面的高度。地面点对于大地水准面的高度称为**絕對高程**,对于其他任意水准面的高度称为**相对高程**或**假定高程**。例如图 1-3 中的 H_a 和 H_b 代表 A 点和 B 点的絕對高程, H'_a 和 H'_b 代表 A 点和 B 点对于任意水准面 $A'B'$ 的相对高程。假設經過 A 点作一水准面 AB'' ,这时 BB'' 表示 A 点对于 B 点的相对高程,通常称为 A 点对 B 点的**高差**,而用 h 表示之。高差有正負,若测点高于起

$$\rho'' = 206265''。$$

若令 q 是 $b'b$ 两点的高程誤差, 則

$$q = R \left(\sec \frac{\widehat{mb}}{R} \rho'' - 1 \right)。 \quad (1-3)$$

假使令 $R = 6371$ 公里, $\widehat{mb}$ 給予各个不同的值, 則可計算出距离誤差和高程誤差, 如下表所示。

表 1-2. 用平面代替水准面的誤差表

距离(公里)	距离誤差 ΔS (厘米)	高程誤差 q (米)
1	0.0008	0.08
10	0.82	7.8
25	12.83	49.0
100	821.20	784.8

从上表可以看出, 当 mb 距离为 25 公里时, 距离誤差为 12.83 厘米, 如果按照地图的比例尺縮小 1000 倍, 繪到图上, 此項誤差在图上的影响仅是 0.13 毫米, 小于繪图时的容許誤差 0.2 毫米。因此我們认为測繪比例尺为 1:1000 的地形图时, 半徑不大于 25 公里的水准面(地表面)可以当作平面。但高程誤差是相当大的, 即使距离很短, 也必須加以改正。

§ 1-7. 平面图、地图、地形图和断面图

在地面上进行測量工作的成果, 如用解析法表示, 則得到的是各种測量数据, 如用图解法表示, 最后将得到一張图。根据成图的要求、測区面积的大小和采用的成图方法不同, 又可分成平面图和地图。

当測区的面积不大, 把这部分水准面当作水平面看待, 将地面上的物体沿鉛垂綫投影到水平面上, 这样就能够在图紙上用縮小而相似的图形来表示这測区在水平面上的投影。这种不考虑地球