

港口工程 测量手册

《港口工程测量手册》编写组 编

人民交通出版社

港口工程 测量手册

《港口工程测量手册》编写组 编

人民交通出版社

内 容 提 要

本书认真总结了我国港口工程测量经验，着重介绍港口工程中控制测量、水深测量和施工测量。主要内容有：控制测量、平差计算、地形测量、水深测量、施工测量和放样等，书内附有很多算例和参考图表，以便读者应用。

本书可供港口工程部门测量人员和技术人员使用参考

港口工程测量手册

《港口工程测量手册》编写组 编

人民交通出版社出版

(北京市安定门外和平里)

北京市书刊出版业营业许可证出字第 006 号

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民交通出版社印刷厂印

开本：787×1092 $\frac{1}{16}$ 印张：27.5 插页：1 字数：685千

1980年6月第1版

1980年6月第1版第1次印刷

印数：0001—3,400册 定价(科三)：2.20元

前 言

建国以来，在毛主席革命路线指引下，港口建设事业有了很大的发展。特别是1973年在我们敬爱的周总理提出的“三年改变港口面貌”的号召下，建港工作更是日新月异。为适应港口建设事业发展需要，组织编写《港口工程测量手册》。

本手册由交通部第二航务工程局主编，第一航务工程局设计院勘察队、第三航务工程局第二工程处及设计处勘察队、广东省航运局规划设计院勘察队、大连工学院水利系、武汉测绘学院工测系、华东水利学院农水系参加，组成编写组，经过一年多的努力，编成此书。

编写工作过程中，曾得到有关单位、院校的大力支持和协助，提供了许多宝贵资料和修改意见，使编写工作顺利完成，在此一并致谢，由于编写时间仓促，实际经验不足，手册中一定存在不少缺点和错误，希读者批评指正。

《港口工程测量手册》编写组

目 录

第一篇 控制 测 量

第一章 平面控制网的布设	1
§1—1 布网形式	1
§1—2 布网要求和技术规格	3
§1—3 踏勘	6
§1—4 选点、精度估算和埋石	6
第二章 距离测量	9
§2—1 普通钢尺的野外检定	9
§2—2 基线和起算边技术要求及基线网的权倒数估算	11
§2—3 基线或起算边的丈量和改正	12
§2—4 导线丈量	15
§2—5 横基尺视差法测距	16
第三章 红外光电测距	20
§3—1 原理概述	20
§3—2 仪器本身主要系统误差及检定方法	21
§3—3 其他误差和注意事项	30
§3—4 红外光电测距作业要求	33
第四章 水平角观测及归心改正	35
§4—1 观测方法及注意事项	35
§4—2 归心元素的测定和归心改正数的计算	38
第五章 边长及坐标计算	42
§5—1 三角形解算和坐标正反计算	42
§5—2 交会点计算	47
§5—3 坐标换算	54
第六章 高斯平面直角坐标	56
§6—1 高斯投影概述和改化公式	56
§6—2 国家控制点成果的利用	61
§6—3 改化和换带算例	62
第七章 方位角测量	67
§7—1 时的换算	67
§7—2 观测恒星高度求表差	69
§7—3 北极星任意时角法测量天文方位角及天文纬度	72

§7—4 子午线收敛角计算	76
第八章 平差计算原理	77
§8—1 条件式、闭合差及限差	78
§8—2 条件平差	84
§8—3 权函数式的组成和平差值函数中误差的计算	86
§8—4 法方程式的组成和解算	87
§8—5 间接平差	92
§8—6 条件方程式个数的确定和平差方法的选择	94
第九章 两组平差法	95
§9—1 两组平差法原理	95
§9—2 四边形平差	97
§9—3 中心多边形平差	101
§9—4 固定角中插入一点或多点的平差	104
§9—5 单三角锁平差	107
§9—6 线形锁平差	115
第十章 典型图形用固定系数作两组平差	122
§10—1 固定系数的编制方法	122
§10—2 常用典型图形固定系数表	125
§10—3 计算举例和使用固定系数表说明	134
第十一章 近似平差	140
§11—1 四边形近似平差	140
§11—2 中心多边形近似平差	141
§11—3 自由三角锁近似平差	142
§11—4 测连接角的线形锁近似平差	143
§11—5 不测连接角的线形锁近似平差	146
第十二章 间接平差	153
§12—1 改正数方程式的组成	153
§12—2 前方交会平差	155
§12—3 后方交会平差	159
§12—4 三边长交会平差	163
§12—5 测边测角交会点平差	167
第十三章 导线测量平差	172
§13—1 各级导线的技术要求和闭合差计算	172
§13—2 单一符合导线平差	173
§13—3 结点网平差	182
§13—4 环形网平差	191
第十四章 水准测量	193
§14—1 高程基准面	193
§14—2 水准线路的布设与精度估算	197

§14—3	观测方法及限差	198
§14—4	主要误差来源及避免方法	203
第十五章	水准网平差	204
§15—1	平差前的检查和单一符合线路的平差	204
§15—2	结点平差	205
§15—3	环形平差	212
§15—4	图解法平差	217
第十六章	三角高程测量	224
§16—1	概述	224
§16—2	观测方法及限差	225
§16—3	内业计算	226
第十七章	过河(海)水准测量	228
§17—1	水准仪双转点法	228
§17—2	经纬仪倾角法	231
§17—3	水(潮)面法	232

第二篇 地形测量

第十八章	地形测量方法	235
§18—1	测量前的准备	235
§18—2	视距及高差测定	238
§18—3	测图方法	240
§18—4	测站补点的布设	244
第十九章	细部测量	247
§19—1	地物测绘	247
§19—2	地貌测绘	251
§19—3	细部点坐标测定	257
第二十章	内业清绘与整饰	260
§20—1	接边与检查	260
§20—2	清绘与整饰	262
第二十一章	水深测量前的准备工作	268
§21—1	概述	268
§21—2	测深线的布设	269
§21—3	水位观测	271
§21—4	水位坡降改正和水下高程计算	272
第二十二章	测深仪器与使用	273
§22—1	测深杆	273
§22—2	测深锤	274
§22—3	回声测深仪	275

§22—4	测深仪的调整和深度改正	279
§22—5	测深记录纸的判读和识别	283
§22—6	测深仪作业要求	285
第二十三章	水深测量外业定位	286
§23—1	测深工作的组织与分工	286
§23—2	前方交会定位法	288
§23—3	后方交会定位法	290
§23—4	断面索定位法	291
§23—5	单角交会定位法	293
§23—6	经纬仪垂直角定位法	293
§23—7	极坐标定位法	295
§23—8	水下礁石和障碍物探测与定位	295
第二十四章	水深测量内业展点	296
§24—1	半圆分度器展点法	297
§24—2	三杆分度仪展点法	297
§24—3	透明纸重迭法	297
§24—4	辐射线格网法	297
§24—5	辐射线同心弧格网法	300
§24—6	圆弧格网法	301
第二十五章	水下地形图内业清绘与检查	304
§25—1	水下地形图绘制程序和作业要求	304
§25—2	水下地形图的检查	306
第二十六章	断面测量	307
§26—1	断面布设	307
§26—2	断面测量	309
§26—3	内业	312
第二十七章	仪器的检校及注意事项	313
§27—1	经纬仪的检验与校正	313
§27—2	微倾水准仪的检验与校正	316
§27—3	平板仪的检验与校正	318
§27—4	国产激光地形测绘仪的野外检验	319
§27—5	六分仪的检验与校正	321
§27—6	三杆分度仪的检查	322
§27—7	其它仪器的检验与校正	323
§27—8	仪器的保管及使用注意事项	325

第三篇 施 工 测 量

第二十八章	港口工程施工测量的基本工作	327
--------------	----------------------	------------

§28—1	施工测量概述	327
§28—2	施工控制网	327
§28—3	矩形控制网	329
§28—4	施工基线的布设	330
§28—5	几种测设点位的方法	336
§28—6	高程放样的方法	337
§28—7	圆曲线的放样	339
§28—8	竖曲线的放样	341
第二十九章	高桩码头的施工测量	343
§29—1	打桩船及打桩工具	343
§29—2	直桩的平面定位	344
§29—3	斜桩的平面定位	345
§29—4	用前方交会法进行方桩定位	352
§29—5	用前方交会法进行圆桩定位	359
§29—6	桩顶标高定位测量	364
§29—7	上部结构放样	366
§29—8	激光定位	368
第三十章	重力式码头及防波堤的施工测量	369
§30—1	基槽开挖和基床抛填时的测量工作	370
§30—2	基床整平中的测量工作	374
§30—3	方块和沉箱的安装测量	376
§30—4	防波堤的施工测量	379
第三十一章	滑道及斜坡码头的施工测量	381
§31—1	标高的计算	382
§31—2	基槽开挖和基床抛填时的测量工作	383
§31—3	基床整平中的测量工作	387
§31—4	井字梁及钢轨的水下安装测量	388
§31—5	桩基滑道及桩基斜坡码头的施工测量	391
§31—6	竣工测量	392
第三十二章	船坞的施工测量	396
§32—1	船坞施工放样的准备工作	396
§32—2	基坑、底板和坞墙的放样	397
§32—3	灌水及排水系统的放样	398
§32—4	坞门框、门槛的放样	399
§32—5	牵引轨道放样	400
§32—6	浮箱船坞的施工测量	401
第三十三章	港口工程建筑物的变形观测	401
§33—1	方向线法观测码头的水平位移	402
§33—2	支距法观测码头的水平位移	404

§33—3	前方交会法观测码头的水平位移	405
§33—4	基点位移的测定及观测点位移的改正	408
§33—5	垂直位移(沉降)观测	409
§33—6	观测成果的整理	409
§33—7	岸坡的变形观测	412
§33—8	应用激光设备测定码头水平位移	412

附 录

附录 1	R 值表	414
附录 2	子午线收敛角系数表	415
附录 3	(a)、(b) 方向系数表	416
附录 4	地球曲率及折光差改正表	422
附录 5	几种常用测深仪型号和主要技术特性	423
附录 6	经纬仪一览表	424
附录 7	水准仪一览表	425
附录 8	埋石规格	426
附录 9	风级表	426
附录 10	希腊字母表	427
附录 11	单位换算与常用常数表	427
附录 12	测量专用电子计算机简介	428
附录 13	星图	插图
附录 14	沉桩记录	429
附录 15	沉桩综合记录	430

第一篇 控制 测量

第一章 平面控制网的布设

测量控制点是一切测量工作的依据。测量人员在实地上根据控制点测绘地形；设计人员在地形图上布置建、构筑物并和图上平面控制点求取一定关系；施工人员就依这个关系根据地面上的控制点把建、构筑物放样到实地上。平面控制点是测量、设计、施工的根据。平面控制网的精度过低则不能满足工程建设的要求，精度过高则又不经济，所以平面控制网的布网方案应根据经济合理，因地制宜，远近结合，以近为主的原则进行全面规划。

§ 1-1 布网形式

港口工程测量平面控制网一般以小三角或一、二级导线为主。

布网要层次分明，胸有全局。首级网要一次布成。并选择图形简单，控制力强，图形强度高，便于平差，适合测区地形条件的图形。港口工程测量总是在沿江或沿海进行，一般以带状网形为主。

一、独立网

独立网中最常用的是单三角锁(如图 1-1)，在跨越江河布设时特别方便。三角点和起算边一般可选设在河堤上。图 1-1 中， $\triangle 7 \sim \triangle 9$ 不能通视，则可选成如图中 7、8、9、10 的图形(通称破四边形)，三角锁便可顺利通过。

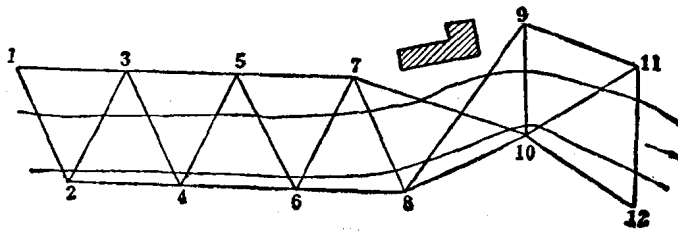


图 1-1

有时也用中心多边形和四边形，这种图形强度较单三角锁好，但如果几个四边形或几个中心多边形连成一条锁，将使平差工作成为非常复杂，故这种图形适用于单个图形足以控制的测区，如岸线不长而纵深较广的块形测区。

常用的导线网有环形网，适用于测区不大但纵深较广地区。在小测区往往用独立单一导线，适用于只测岸线附近部分。

二、非独立网

测区有高级点时，在开阔地区最常用的插网是线形锁，在隐蔽地区常用的是导线的结点网、环形网。有条件应用电磁波测距时，即使在较大测区，亦可测符合的干导线作首级控制。干导线平均边长可放宽至1公里左右，边长应均匀并在测距仪的最佳测程内，导线总长可达5公里左右。

高级点不在测区内而必须联测时，可利用典型图形在测区内进行插点作首级控制。以下几种图形可供参考。

1. 四边形(图 1-2a)或菱形(图 1-2b)

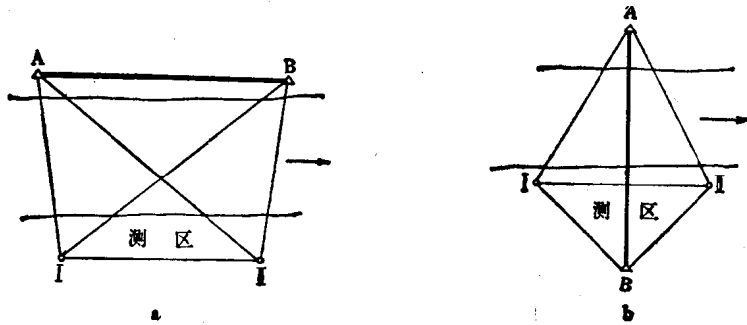


图 1-2

2. 固定角内插一点或多点(图 1-3)

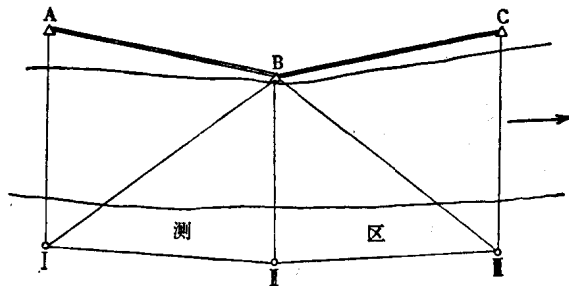


图 1-3

3. 扇形(图 1-4)

4. 三角形内插一点(图 1-5)

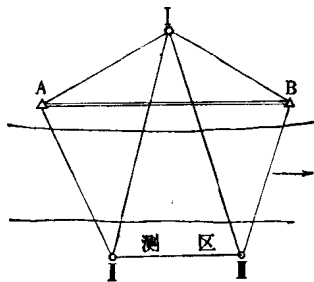


图 1-4

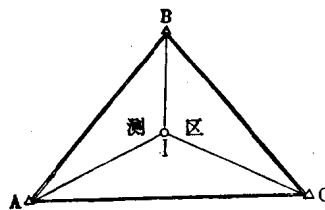


图 1-5

5. 三角形外插一点(图 1-6)
6. 三角形内外各插一点(图 1-7)

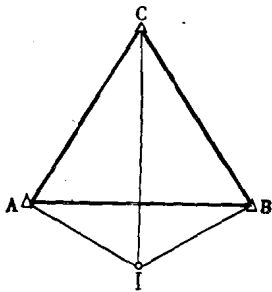


图 1-6

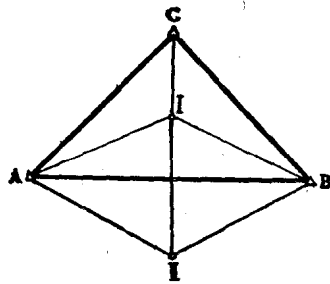


图 1-7

以上几种图形都是常见的典型图形。图形简单，控制力强，图形强度高，平差方便，高级点只需 2~3 个，可因地制宜地选用。此外，还可利用高级点测设单三角形或三个方向以上的前方交会，四个方向以上的后方交会，或两个方向以上的测角测边交会作插点，把控制点引到测区内，然后再用插网形式在测区内加密。应该注意的是：引到测区内的相邻二个插点间最好能互相通视并观测方向。在图 1-2 中，如果 I、I 之间不观测方向，则将成为 A I B 和 A I B 两个单三角形，这种图形的强度将远不如四边形。

§ 1-2 布网要求和技术规格

一、经济合理

规范规定平面控制点的技术指标是以小三角最弱边边长中误差和 I、I 级导线最弱点点位中误差为 5 厘米来考虑的。它适用于测绘 1:500 比例尺地形图和测细部坐标点的要求。只作测图用而不作其他用途的控制点精度可依不同比例测图的图上误差 0.1 毫米来确定，如 1:2000 测图的控制点点位误差不大于 20 厘米就可以保证测图的精度了。

设有三角锁如图 1-8

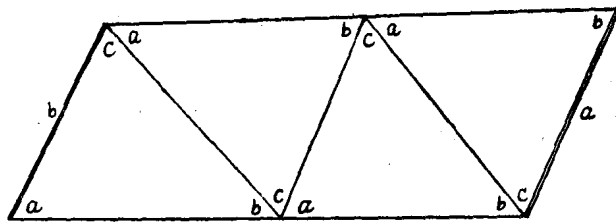


图 1-8

图中 b 为起算边， a 离起算边最远，边长精度最差，故称为最弱边。各三角形内的 a 、 b 角是用正弦定律由 b 边推算至 a 边所用的角度，称为传距角， a 、 b 角的对边称为传距边。 c 角称为间隔角，其对边称为间隔边。则最弱边 a 的边长对数中误差的估算公式为：

$$m_{\lg a} = \pm \sqrt{m_{\lg b}^2 + m^{\prime 2} \cdot \frac{1}{P_{\lg a}}} \quad (1-1)$$

式中： $m_{lg b}$ ——起算边边长对数中误差；

m'' ——测角中误差；

$\frac{1}{P_{lg a}}$ ——最弱边边长对数权倒数，其一般公式为： $\frac{1}{P_{lg a}} = K \sum R$ ， n 为三角形个数。

在三角锁中(按角度平差)：

对于三角形：
$$K = \frac{2}{3}$$

对于四边形或中心多边形：
$$K = \frac{1}{2}$$

在线形锁中对于三角形(按角度平差)：
$$K = \frac{2}{9}$$

R (图形强度因数) = $\delta_a^2 + \delta_b^2 + \delta_a \delta_b$ ， δ_a 、 δ_b 为求距角正弦对数秒差，以对数第六位为单位，可以求距角为引数查附录 1 求得 R 。在三角锁中的四边形或中心多边形，求权倒数时只计算最佳求距线路上的三角形的 R ，见〔例 1—2〕。

求得 $m_{lg a}$ 后，除以 $\mu \cdot 10^6$ (μ 是对数模等于 0.4343) 即得 a 边的相对误差，即：

$$\frac{m_{lg a}}{\mu \cdot 10^6} = \frac{m_a}{a} \quad (1-2)$$

求得最弱边的相对误差 $\frac{m_a}{a}$ 后，乘以边长 a ，即得最弱边边长中误差 m_a 。

由公式(1-1)、(1-2)可知边长误差决定于边长 a ，起算边精度 $\frac{m_b}{b}$ ，测角中误差 m'' 和三角形图形强度因数之和 $\sum R$ 。规范对以上的技术指标规定如表 1-1。

表 1-1

等 级	边 长 公里(平均)	测 角 中误差	三角形最 大闭合差	相 对 中 误 差		方 向 法 测 回 数	
				起 算 边	最 弱 边	J_2 型	J_6 型
一级小三角	0.5~1.5(1.0)	±5"	±15"	1/40000	1/20000	3	
二级小三角	0.3~1.0(0.5)	±10"	±30"	1/20000	1/10000	2	3
图根小三角	0.1~0.3(0.2)	±20"	±60"	1/10000	1/5000	1	2

规范对小三角锁的 $\sum R$ 作如下规定：

一条起算边的三角锁， $\sum R \leq 21$ ；

二条起算边的三角锁， $\sum R \leq 80$ ；

线形锁， $\sum R \leq 60$ 。

对于不需要 5 厘米精度的控制网，可按规范要求的规格作适当放宽。各项技术指标放宽后对 m_a 的影响，列于表 1-2，以便选用。

表 1-2 只适用于一个技术指标放宽后对 m_a 的影响，如果有两个或两个以上的技术指标同时放宽，则 m_a 的变动不能简单地按比例相乘或迭加，而必须按公式(1-1)、(1-2)计算。

例如在某测区测 1:1000 比例尺的图，所测控制点不作施工用，也不测细部坐标，则按图上误差 0.1 毫米的要求，控制网精度 10 厘米就够了。在这种情况下，如施测两端有起算边的一级小三角锁，按 $m_a = 10$ 厘米的要求查表 1-2，则技术指标可作如下放宽：

表 1-2

边长 a 放宽倍数	m_a (厘米)	起算边精度 $\frac{m_b}{b}$ 放宽倍数	m_a (厘米)	测角精度 m'' 放宽倍数	m_a (厘米)	图形强度系数之和 ΣR 放宽倍数	m_a (厘米)
$a \times 1$	5.0	$\frac{m_b}{b} \times 1$	5.0	$m'' \times 1$	5.0	$\Sigma R \times 1$	5.0
$\times 2$	10.0	$\times 1.5$	5.8	$\times 1.5$	7.0	$\times 2$	6.6
$\times 3$	15.0	$\times 2$	6.6	$\times 2$	9.0	$\times 3$	7.9
$\times 4$	20.0	$\times 2.5$	7.6	$\times 2.5$	11.1	$\times 4$	9.0
		$\times 3$	8.7	$\times 3$	13.2	$\times 5$	10.0
		$\times 3.5$	9.8	$\times 3.5$	15.4	$\times 6$	10.9
		$\times 4$	10.9	$\times 4$	17.5	$\times 7$	11.7
						$\times 8$	12.5
						$\times 9$	13.3
						$\times 10$	13.9
						$\times 15$	17.0

边长放宽至 1 公里 $\times 2 = 2$ 公里，其它技术指标不变；

起算边精度放宽至 $\frac{1}{40000} \times 3.5 = \frac{1}{11500}$ ，其它技术指标不变；

测角精度放宽至 $5'' \times 2 = 10''$ ，其它技术指标不变；

ΣR 放宽至 (即增加三角形个数) $80 \times 5 = 400$ ，其它技术指标不变。

二、远近结合，以近为主

在分阶段设计的测量工作中，由于测图比例不同，对控制网的精度要求也不同。如在选址阶段测量中，要求测 1:5000 图，此时对控制网的精度要求较低。在这个港址有可能被选定的情况下，不宜将控制网精度降低到仅能满足 1:5000 测图需要，而宜对起算边保留适当精度，并设在测区中部，将最弱边放在测区两端。这样，选定港址后需测大比例尺图时，对控制网的改造也较方便。

例如在长约 8 公里的选址测量中，测设了如图 1-9 的三角锁。

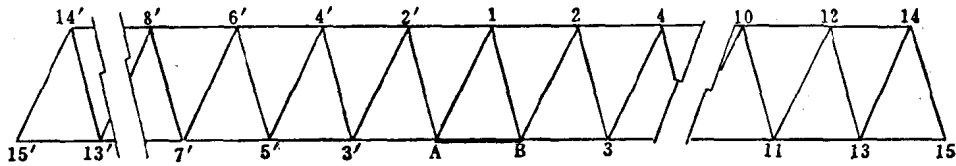


图 1-9

以 $\frac{1}{20000}$ 的精度测设了约 500 米的起算边 AB ，位置在测区中部。三角锁以平均边长 500 米向两端扩展，以 $10''$ 精度测角 (即用二级小三角规格)。每个三角形的 R 以 7 计，则根据表 1-2 或依公式 (1-2) 估算得的三角锁边长中误差为：在 $\Delta 3$ 和 $\Delta 3'$ 间的边长中误差 $m_a \leq 5$ 厘米，在 $\Delta 15$ 和 $\Delta 15'$ 间的边长中误差 $m_a \leq 10$ 厘米。即三角形增加很多，但边长精度递降很慢。将来如果在 $\Delta 3$ 和 $\Delta 3'$ 间测 1:500 图，控制网可不用改造。如选定港址在两端，则在锁

端补测一条起算边，并按 §1-4(例 1-2)的方法进行估算。如估算结果符合要求，则在两条起算边条件下进行平差后，控制网即可作为大比例尺测图用。

应该说明，在一条起算边扩展很多三角形的情况下，应在端部量概略边长以作校核，但不作平差用，以防计算粗差。

§ 1-3 踏 勘

一、收 集 资 料

在踏勘前要收集测区有关资料，以供踏勘中应用。通过踏勘，可以了解尚需那些资料应继续收集。收集资料应包括地形图、平面控制和高程控制资料，需要时还应收集水文气象资料。收集资料应注意：

1. 抄录资料应仔细校对，保证无差错；
2. 了解资料来源，测量单位、时间、精度等级、坐标系统和高程基准；
3. 了解测区内有无地面沉降及其历史资料；
4. 资料应妥善保管，于工作结束时同成果一并上交。

二、现 场 踏 勘

踏勘工作宜会同设计人员进行，主要工作内容如下：

1. 了解设计意图，便于布置测量要求，制定测量任务书；
2. 了解测区内水、陆域地形地貌和水文气象情况，有无沉船、暗礁，便于制定测量方案，计划工作和配备力量；
3. 了解基地到测区的交通情况，测区的工作、生活、医疗卫生和通信联系条件，某些测量器材(如埋石材料、竹杆等)是否可就地供应；
4. 了解测区内已有的测绘资料，并实地查勘原有控制点的埋设地点、可靠程度和通视情况；
5. 与当地有关单位联系，争取他们的支持和协作。

§ 1-4 选点、精度估算和埋石

选点工作应在现场踏勘和收集资料的基础上进行。对测区内原有控制点应尽可能充分利用。事先宜在小比例尺图上拟定布网方案，然后到实地进行选点。

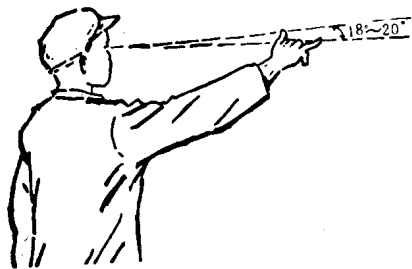


图 1-10

选点时宜携带小平板仪或罗盘仪、六分仪和旗标木桩等，以便测得所选三角形的内角概略值，供估算最弱边精度之用。如三角形个数预计不会超过规范规定，视线开敞，容易选成良好图形，则亦可不带上述仪器，而应用手指目估测角法。方法是将右臂水平举向右前方，大小指伸直，其余三指卷曲，大小指尖连

线成水平并与目光垂直, 根据不同的体型, 以目为中心的大小指尖间夹角有所不同, 一般在 $18\sim 20^\circ$ 之间(图 1—10)。平时可在已知角中测知两指尖间夹角, 以便必要时使用。

一、选点注意事项

1. 边长尽量均匀并符合规范相应等级的要求。三角形应尽量选成等边, 导线尽量选成直伸形。
2. 图形简单, 内外业工作量较小, 控制面积较大并便于进行加密。两条导线距离过近时宜组成结点。
3. 基线网宜布成单菱形。无论选基线、起算边或导线均应避开农田, 并选择地势平坦之处。电磁波测距或视差法测距可不受此限制。
4. 四周开阔, 通视良好, 便于设站, 方向线离障碍物一米以上, 并尽量能观测到标志根部。
5. 地势较高, 地基坚实, 便于埋石, 且能长期保存。在河岸选点时应尽量选在最高洪水位以上。

二、计算图形强度

在选点完成后, 即从小平板上量取各三角形内角, 取至度即可(或用罗盘仪、六分仪测得的角度), 以求距角为引数查附录 1 求得 R 后, 再迭加得 ΣR 。如果 ΣR 超过规定不多, 则可用加强图形解决: 例如重新选点改善图形不好的三角形; 或在图形不好的三角形间加测对角线组成四边形; 也可选成中心多边形。如果 ΣR 超过太多, 则宜在锁中增设起算边, 或用提高测角精度来解决。例如原来规定测角中误差为 m'' , 因 ΣR 超过规定, 测角中误差改为 $\frac{m''}{n}$, 则 ΣR 可按规定放宽 n^2 倍。比如原来测二级小三角测角精度为 $\pm 10''$, 现提高为 $\pm 5''$, 则两起算边间的 ΣR 可放宽为 $2^2 \times 80 = 320$ 。

三、估算三角网(锁)最弱边相对中误差

估算三角网(锁)最弱边相对中误差是为了成果符合规范的要求, 例如二级小三角最弱边精度规定在 $\frac{1}{10000}$ 以上。如果经过图形强度计算, ΣR 在规范规定之内, 起算边精度和测角精度也均符合规范要求, 则最弱边相对中误差(估算)必然符合规范要求而可以不估算。如个别指标略有超限, 或处于临界状态, 则应加以估算。

〔例 1—1〕测一级小三角锁, 一条起算边精度 $\frac{m_b}{b} = \frac{1}{40000}$, 测角中误差 $m'' = \pm 5''$, 三角形图形强度 $\Sigma R = 21$, 求最弱边边长中误差 m_a 。

已知 $\Sigma R = 21$, 对于三角锁, $\frac{1}{P_{iga}} = K \Sigma R = \frac{2}{3} \times 21 = 14$

$$m_{igb} = \frac{m_b}{b} \cdot \mu \cdot 10^6 = \frac{1}{40000} \cdot \mu \cdot 10^6 = 10.86$$

代入(1—1)式: $m_{iga} = \pm \sqrt{10.86^2 + 5^2 \times 14} = 21.63$