UDC 528.48
A 78

中华人民共和国国家标准

GB/T 15314—94

精密工程测量规范

Specifications for precise engineering survey

1994-12-22发布　　1995-10-01实施

国家技术监督局　发布

目　　次

1　主题内容与适用范围 …… (1)
2　引用标准 …… (1)
3　总则 …… (1)
4　精密工程水平控制网 …… (2)
5　精密工程高程控制网 …… (3)
6　测量标志的建造 …… (5)
7　精密角度测量 …… (7)
8　精密距离测量 …… (10)
9　精密高程测量 …… (17)
10　精密准直测量 …… (20)
11　精密垂准测量 …… (28)
12　精密工程测量数据处理和管理 …… (30)
附录 A　平面基准点标志(补充件) …… (34)
附录 B　平面点标志(补充件) …… (36)
附录 C　平面点照准标志(补充件) …… (36)
附录 D　高程基准点标志(补充件) …… (38)
附录 E　高程控制点标志(补充件) …… (39)
附录 F　高程照准点标志(补充件) …… (41)
附录 G　深埋式平高点标志(补充件) …… (42)
附录 H　精密准直测量的觇牌制作、仪器检验和偏离值计算(补充件) …… (42)
附录 I　精密工程测量计算的基本参数和公式(补充件) …… (47)
附录 J　精密距离测量设备和仪器型号(参考件) …… (54)
附录 K　FSQ 型静力水准仪安装、调校和使用规则(参考件) …… (56)
附录 L　全球定位系统(GPS)精密工程测量(参考件) …… (58)
附录 M　近景摄影精密工程测量(参考件) …… (60)
附录 N　精密工程定点变形资料库及信息处理系统逻辑结构图(参考件) …… (61)

中华人民共和国国家标准

GB/T 15314—94

精密工程测量规范

Specifications for precise engineering survey

1 主题内容与适用范围

本标准规定了精密工程测量及其控制网的布设原则、等级、作业要求和数据处理方法。

本标准适用于各类工程的勘察设计、施工放样、安装调试、变形监测诸阶段的精密测量工作。在其他领域应用时，其原则也可参照执行。

2 引用标准

GB 12897 国家一、二等水准测量规范

GB/T 12979 近景摄影测量规范

3 总则

3.1 精密工程测量是工程测量的现代发展和延伸，它以绝对测量精度达到毫米量级，相对测量精度达到 1×10^{-5}，以先进的测量方法、仪器和设备，在特殊条件下进行的测量工作。精密工程测量准确求定控制点和工作点的坐标和高程以及进行精密定向、精密准直、精密垂准，为经济建设、国防建设和科学研究服务。

3.2 精密工程测量控制点的坐标，采用高斯-克吕格投影任意带(或3°带)平面直角坐标系统，以测区平均高程面或主体设备高程面(或抵偿高程面)为投影面。在工程设计基准下，可选用国家控制网中一个点的坐标及一条边的方位角作为精密工程控制网的起算数据。

精密工程测量控制点的高程，采用正常高系统和1985国家高程基准。当工程区域内同一水准面上各点的正常高差大于工程容许误差时，应采用区域力高系统。高程基准点须测定重力，相对于起始重力点的中误差不得超过±1 mGal。

3.3 精密工程测量以相邻点相对点位中误差或在特定方向上的相对位置精度作为精度指标，划分为一、二、三、四级。一、二级精密工程测量应在可控观测条件下作业，三、四级精密工程测量应选择最佳的野外条件作业。同一工程中不同的观测项目，可选用不同的精度指标。同类观测项目中若有不同精度要求的控制点，应选择最高精度指标布设统一的控制网。

3.4 精密工程测量技术应与工程总体设计协调统一。精密工程测量设计人员须同该项工程的其他专业人员密切配合，了解工程的用途、特点、总体布置以及与周围环境的关系；了解工程的分体结构、施工步骤、进度和方法；了解工程总体和局部对测量工作的要求(包括精度、时限等)；收集分析已有的测绘资料以及与工程建设有关的地质、水文、气象资料。设计人员应采用数学规划方法结合现场踏勘，设计工程建设各个阶段的最佳测量技术方案。

3.5 工程放样和设备构件的安装定位，以精密工程测量控制点为基础。应尽量以最简单、最精确的方法将构件定位标志的设计位置与控制点相联系，安装定位工作要直接利用对中器进行，若确有困难，也应尽量使控制点靠近构件设计位置。可利用基准线法、弦线支距法、距离或方向交会等方法将构件安装到

国家技术监督局1994-12-22批准　　1995-10-01实施

设计位置。据放样方法，仪器设备情况，合理地确定放样测量的允许误差，确保目标点的要求精度。构件安装前，应对控制点作检核测量。最终安装后，应对全部构件进行竣工测量。

3.6 精密工程建(构)筑物的变形测量，宜采用自动化信息遥测系统连续进行，也可采用周期复测的方法进行监测。复测周期应根据建(构)筑物变形特征、速率、观测精度等因素综合确定。若用户对变形测量精度无特殊要求，可按有关专业的变形测量规范要求进行监测。

3.7 精密工程测量使用的各种测量杆尺、线尺、测距仪、水准标尺，应送具有计量认证的检验机构进行长度检定。测量仪器、对中装置以及工程测量应用的物理、气象仪器也应按有关规程进行检定。有条件的大型精密工程场所，应建立计量站。

3.8 工程建设各阶段的精密工程测量工作结束后，应及时提交成果，进行检查验收并编写工程测量技术总结和竣工报告。有条件的精密工程测量管理部门，应建立工程测量信息库系统。

3.9 精密工程测量工作，除应用本规范提出的方法外，在满足工程建设要求的原则下，优先采用成熟的测量新技术和数据处理方法进行(例如附录L、M)。若用户提出的精度要求超过本规范的指标，可以采用经过实践检验的其他方法和仪器施测。

4 精密工程水平控制网

4.1 精密工程水平控制网的主要作用

a. 为精密工程施工放样、设备安装、调校和竣工测量提供精密水平控制点和相应的控制测量资料。

b. 为地基、建筑物及主要构件或系统的变形监测提供分析、验证和研究水平变形的基础资料。

c. 为同一工艺流程中的不同建筑物或同一建筑物的不同群体分期建设提供统一完整的精密控制测量基础。

d. 实现工程设计坐标系与控制测量坐标系间的转换。

4.2 精密工程水平控制网的设计原则

4.2.1 精密水平控制网的精度，是根据精密工程关键部位的竣工位置的容许误差的要求，根据实际情况，综合分析合理地确定。

4.2.2 精密工程水平控制网的精度，一般是以相邻点相对点位中误差(或相对变化量)作为设计的依据。精密水平控制网通常是固定基准下的独立网(监测网有时除外)。控制网的等级，一般不具有上级网控制下级网的意义，而具有点位配合和精度配合的意义，但也允许逐级发展。

4.2.3 精密工程水平控制网的图形主要取决于工程任务和实地条件，一般由基准线、三角形、大地四边形及中点多边形等基本图形构成，根据情况可布设成基准线、三角网、三边网或边角网，也可采用GPS网用双频接收机载波相位法建立相对水平控制网。精密工程水平控制网对网形(包括边长和角度)一般不作具体要求。

4.3 精密工程水平控制网的等级

以相邻点相对点位中误差作为精度指标，分为一、二、三、四级(见表1)。

表1

mm

等　级	一级	二级	三级	四级
相邻点相对点位中误差	0.2	1.0	3.0	5.0

相对点位中误差 M_{ij} 可根据相对点位误差椭圆的长半轴和短半轴或相对坐标增量中误差来计算：

$$M_{ij} = \pm\sqrt{A_{ij}^2 + B_{ij}^2} \qquad \cdots\cdots(1)$$

或 $$M_{ij}=\pm\sqrt{m_{\Delta x}^2+m_{\Delta y}^2} \quad \cdots\cdots(2)$$

式中：A_{ij}——相对点位误差椭圆的长半轴，mm；

B_{ij}——相对点位误差椭圆的短半轴，mm；

$m_{\Delta x}$，$m_{\Delta y}$——相对坐标增量中误差，mm。

也可用边长的中误差和万位角中误差按下式计算：

$$M_{ij}=\pm\sqrt{m_s^2+(m_\alpha\times s/\rho)^2} \quad \cdots\cdots(3)$$

式中：m_s——边长中误差，mm；

m_α——方位角中误差，(″)；

s——边长，mm；

ρ——206 265″。

4.4 精密工程水平控制网技术设计前应收集的资料

a. 工程地区一定范围内的各种比例尺地形图、交通图、地质构造图、水文资料、气象资料等。

b. 工程总体规划图、建筑总体布置图、施工图、进度表及各项有关技术文件，特别是要弄清楚对工程测量提出的精度要求的实质性意义，并用技术文件予以确定。

c. 已有控制测量资料，包括水平控制网、高程控制网、点之记、成果表、技术总结。

4.5 精密工程水平控制网的设计方法

水平控制网采用计算机辅助优化设计方法(模拟法或与解析法配合使用的综合方法)。优化设计的主要内容是图形设计、观测方案设计和旧网改造的设计。无论哪种设计，水平控制网的质量必须满足精度要求，还须顾及控制网的可靠性标准、费用标准及监测网的灵敏度标准。

4.6 精密工程水平控制网的技术设计程序

a. 在施工总平面图上或工程设计平面图上，按比例尺展绘出建筑物的主要点、线。

b. 根据施工现状和技术条件，在图上选取控制点，连成网形。

c. 用计算机辅助优化设计的方法，进行多种方案的设计，从中选择一种最优设计方案。

d. 到实地选点，确定点位、标墩类型。要确保通视，还要考虑地质条件、地下水位、荷重影响以及季节性温度变化等影响。设计统一的强制对中设备和照准标志。

e. 根据图上设计和实地选点的结果，编写精密工程水平控制测量技术设计书。

4.7 精密工程水平控制测量技术设计书的内容

a. 水平控制网设计图，标志类型和施测精度等级。

b. 测区概况和对已有水平控制网测量资料的评价和利用。

c. 采用的测量基准和测量标准。

d. 测量标志结构，强制对中设备、墩标规格及埋设要求。

e. 工程提出的精度要求的确切意义，技术设计方案和预期的精度估算。

f. 采用的仪器、设备、观测方法、仪器计量检定地点和周期以及新技术应用。

g. 作业实施计划和进度表。

5 精密工程高程控制网

5.1 精密工程高程控制网的主要作用

a. 为精密工程施工放样、设备安装、调校和竣工测量提供高程控制点的精确数据。

b. 为工程地基、建(构)筑物的变形监测提供研究垂直变形的基础资料。

c. 为同一工程中不同建(构)筑物或同一建(构)筑物的不同群体分期、分层建设，提供统一的高程控制基础。

5.2 精密工程高程控制网的设计原则

5.2.1 高程控制网的布设范围应与水平控制网相适应。

5.2.2 高程控制网的精度，应使工程竣工时关键部位相对于设计尺寸的误差满足要求。

5.2.3 高程控制网以测站高差中误差为精度设计和分级的依据。高程控制网的等级一般不具有上级网控制下级网的意义，在低等网内可以布设高等网，此时只选取一点作为高等网的高程起算点。若工程需要也允许逐级布设高程控制网。

5.2.4 高程控制网应为闭合环或附合路线构成的结点网，不得布设支线。闭合环周长和结点间长度根据工程建设的需要确定。

5.2.5 高程控制网中的路线坡度应平缓，视野应开阔，视线距周围障碍物应超过 0.5 m。一、二级高程路线上，应能设置仪器墩或可移动的仪器台，相邻标尺点间高差不得超过 0.5 m。

5.2.6 高程控制网中的控制点，应设在稳定可靠、连测方便并能长期保存的地点，应避开地下管线、油井、气井、水井、地裂缝、滑坡、振动剧烈及其它易遭破坏的地点。大型精密工程应建立高程基准点。

5.2.7 露天埋设的高程控制点，须经过一个雨季，冻土地区还应经过一个冻解期，岩层或室内埋设的高程控制点，至少应经过半个月方可观测。

5.3 精密工程高程控制网的等级

高程控制网以测站高差中误差作为精度指标，分为一、二、三、四级(见表 2)。

表 2

等　级	一级	二级	三级	四级
测站高差中误差 mm	0.03	0.05	0.10	0.30
视线长度 m	10	20	30	50

高程测量一测站高差中误差 M 按布网状况进行计算。

a. 当闭合环的个数超过 20 个时，按(4)式计算：

$$M = \pm \sqrt{[ff/n]/N} \qquad \cdots\cdots(4)$$

式中：f——环闭合差，mm；

n——计算各 f 值相应的测站数；

N——闭合差个数。

b. 当闭合环不足 20 个而网中测段数超过 20 个时，按(5)式计算：

$$M = \pm \sqrt{[dd/n]/4N} \qquad \cdots\cdots(5)$$

式中：d——测段往返不符值，mm；

n——计算 d 值相应的测站数；

N——往返不符值个数。

c. 独立测站变形观测的日均值个数超过 20 个时，按(6)式计算。

$$M = \pm \sqrt{[\delta\delta]/2(N-1)}$$
$$[\delta\delta] = \Sigma(X_{i+1} - X_i)^2 \qquad \cdots\cdots(6)$$

式中：X_i——第 i 日观测高差平均值，mm；

δ——相邻日均值连差，mm；

N——日均值个数。

若变形量过大，应去掉变形影响，再进行精度统计。

5.4 精密工程高程控制网技术设计前应收集的资料

a. 工程所在地区的大比例尺地形图和交通图，地质、地震、气象、水文资料。

b. 工程建设总体规划图、布置图、施工图、工程施工进度表及有关技术文件。特别要弄清楚对高程测量提出的精度要求，并用技术文件予以确定。

c. 工程所在地区的高程控制测量资料，包括水准路线图、点之记、成果表、重力测量资料、技术总结等。

5.5 精密工程高程控制网的技术设计程序

a. 在施工总平面图上展绘出工程建(构)筑物的主要点、线。若为多层结构工程，应分层展绘。

b. 在图上展绘已有的水平控制点和高程控制点(包括新设计的水平控制点)。

c. 按工程建设需要和高程控制点位要求，在图上选取高程控制点，使高程控制点均匀分布在建(构)筑物周围。按照观测路线的要求，连结相关控制点(包括合适的水平控制点)构成高程控制网。

d. 在设计的高程控制网上，用解析方法(等权代替法、参数法或其他方法)计算关键部位某些特定点间高差或高程(以下简称测量对象)的权例数，按(7)式求出测站高差中误差，对照表 2 选定高程控制网的等级。

$$M = \Delta_F/(3\sqrt{Q_F}) \qquad \cdots\cdots(7)$$

式中：M——拟设高程控制网的测站高差中误差；

Δ_F——测量对象 F 的容许误差；

Q_F——测量对象 F 的权倒数(以测站高差中误差作为单位权中误差)。

e. 采用增加或减少多余观测的方法，进行多种方案的设计，选择既适合测区条件和仪器性能又能满足工程要求精度的方案布设高程控制网。

f. 到实地确定点位和标志类型。

g. 编写精密工程高程控制测量设计书。

5.6 精密工程高程控制测量技术设计书的内容

a. 高程控制网设计图，标志类型和施测精度等级。

b. 测区概况和对已有高程控制测量资料的评价和利用。

c. 采用的高程系统和测量标准，确定的高程起算点和检测方案。

d. 需埋设的测量标志分类表。

e. 确定高程控制网精度等级的依据，工程建设要求的关键部位某些特定点高程精度的估算。

f. 采用的仪器、设备、观测方法和仪器计量检定地点和周期。

g. 作业实施计划和进度表。

6 测量标志的建造

6.1 一般规定

6.1.1 精密工程测量的各种标志，是进行各种精密测量的基本依据。按其用途可分为平面点标志，高程点标志和平高点标志。

6.1.2 在埋设标志之前，应仔细研究工程区域内有关的工程地质、水文地质及气象等资料，依据地基的承压性能、恒温层的深度、冻土深度、地下水位的深度及波动幅度等情况，并结合建筑物竣工后的总荷载、单位面积上的压力以及建筑物运营期间的动荷载等信息，确定标志的埋设深度。

6.1.3 各种标志的类型和规格应根据观测目的和工程区域内的地质条件来确定。标志的埋设应稳固、耐用，保证近期和长远的使用方便。外部修饰还应考虑与相应建筑物外观的协调、造型美观。

6.1.4 埋设精密测量控制点地锚的深度应遵循以下原则：

a. 平面点及高程点的地锚应埋在土壤压缩深度以下，并靠近恒温层地带；

b. 如果恒温层位于压缩深度的下边线或边线以上，那么高程点埋设地锚的深度则应是土壤压缩深度的边线；

c. 选择埋设地锚深度时，还必须顾及到土壤水位及其季节性的变化，以使控制点地锚埋在水位变化范围之外。

6.1.5 在建造标志前后，应编制标志明细表，在该表上说明所采用标志的类型和规格等情况，并绘出埋设图。埋设图包括点位平面图、标志断面图、点位地质剖面图。

6.2 平面点标志

6.2.1 平面点的标志包括深埋式标志、观测墩及照准标志等。

6.2.2 精密工程测量的平面基准点标志一般采用深埋式标志。根据具体工程的需要和可能，深埋式标志可以选用倒锤式装置、光线传递式标志或刚体支架式标志等。深埋式标志的规格见附录A。

6.2.3 深埋式标志的建造应符合下列要求：

a. 标志的地锚应固定在稳定的岩层中，标体本身应与建筑物及地基上表的岩层相隔离；

b. 地锚中心应能严格垂直地传递到作业水平面上；

c. 钻孔垂直度应不低于1/200。

6.2.4 各等级平面控制点应建造观测标志。观测标志应因地制宜选用混凝土、花岗石、青石及钢管等材料建造。标志规格见附录B。

6.2.5 埋设观测标志时，应先将坑底填以沙土，捣固夯实或浇灌混凝土底层。标志埋稳后，周围的土亦应夯实，以防标志倾斜或位移。

6.2.6 平面点的标志上应具备强制对中装置。强制对中装置的对中误差应按观测精度确定，一般为±0.025～±0.1 mm。

6.2.7 照准标志可根据具体情况选用旋入式杆标照准标志、重力平衡球式照准标志、直插式觇牌标志和埋入式照准标志。各种标志的规格见附录C。

6.2.8 照准标志应符合图象反差大、图案对称、有明显几何中心或轴线、相位差很小和本身不变形等要求。

6.3 高程点标志

6.3.1 高程点的标志包括深埋式金属管标志、岩层标志、浅埋式金属管标志、混凝土标志、墙上标志、基础上标志和设备上标志等。

6.3.2 精密工程测量的高程基准点标志一般采用深埋式标志。根据具体工程的需要和可能，深埋式标志可选用深埋式双金属丝标志、深埋式双金属管标志或深埋式钢管标志等。深埋式标志的规格见附录D。

6.3.3 深埋式标志的建造应符合下列要求：

a. 深埋式标志埋设地点的选择必须考虑该地区的地质构造，深埋式标志应埋设在建筑物的压力传播范围之外；

b. 在建筑区内的埋设深度应大于邻近建筑物基础的深度；

c. 在建筑物内部的埋设深度应大于地基土压缩层的深度。

6.3.4 各等级高程控制点的标志一般采用岩层标志、浅埋式钢管标志或混凝土水准标志。以上各种标志的规格见附录E。

6.3.5 埋设岩层标志时，必须清洗岩石基槽，用水、水泥、砂、石子的重量比为0.6∶1∶2∶4的混凝土浇捣，使标志与基槽合成整体。

6.3.6 埋设浅埋式钢管标志时，钻孔底必须夯实，金属管应插入孔底下30 cm。

6.3.7 埋设混凝土水准标志时，必须用钢筋混凝土进行现场浇灌。

6.3.8 在大型设备构件的安装调整和垂直位移观测时，应在设备构件或建筑物上设置各种高程标志。高程标志的类型可选用墙上标志、基础上标志或设备上标志。以上各种标志的规格见附录F。

6.3.9 设立墙上标志和基础上标志时，立尺部位必须加工成半球状或有明显的突出点，并要涂上防锈剂。标志的埋设应牢固稳定，并应便于竖立标尺。

6.4 平高点标志

6.4.1 平高点的标志包括深埋式标志、观测标志和照准标志等。

6.4.2 深埋式平高点的规格见附录G。观测标志和照准标志应符合水平测量和高程测量要求。

6.4.3 平高点标志的埋设方法可参照6.2及6.3中的有关规定执行。

6.5 上交资料

测量标志建造工作结束后，应呈交下列资料：

a. 测量标志点之记和标志结构图，埋设点地基断面图；

b. 测量标志委托保管书；

c. 技术总结，验收报告。

7 精密角度测量

7.1 一般规定

7.1.1 精密角度测量是精密三角测量，精密边角测量、精密导线测量和精密定向测量中的主要环节。用三角形闭合差计算的各级精密角度测量的测角中误差应不超过表3的规定。

表3 (″)

等　级	一级	二级	三级	四级
测角中误差	0.42	0.71	1.41	2.82

7.1.2 角度测量应在目标成象清晰稳定的有利观测时间进行。一、二级角度测量应在可控环境中进行。视线距周围障碍物应超过0.5 m。

7.1.3 观测过程中应注意始终保持照准部水准气泡居中。每个照准方向应记录水准偏离值进行水平角竖轴倾斜改正。在测回间须重新整平仪器。

7.1.4 仪器的转动应平稳、匀称，照准目标时，应按规定方向旋转。

7.1.5 在仪器测站点和目标照准点上应使用强制对中装置。

7.1.6 为消除或减弱光学经纬仪的度盘分划长短周期误差、测微器分划误差及行差的影响，或为消除或减弱电子经纬仪度盘分划误差的影响，使用光学经纬仪时，应使水平角观测各测回均匀地分配在度盘和测微器的不同位置上；使用电子经纬仪时，应使水平角观测各测回均匀地分配在度盘的不同位置上。为此，须事先编制观测度盘表。

7.2 精密测角仪器的类型及检验项目

7.2.1 精密角度测量可使用的仪器有DJ07、DJ1、DJ2型光学经纬仪以及精密电子经纬仪。也可根据具体工程需要，专门设计能满足精度要求的精密测角仪器。

7.2.2 对于刚出厂或新领到(无检验资料)的光学经纬仪,首先检查仪器各部件的完损和效能情况,调整仪器的三轴关系,然后按以下项目进行检验:

a. 望远镜光学性能的检验;
b. 调焦镜运行正确性的检验;
c. 照准部旋转是否正确的检验;
d. 照准部偏心差的检验;
e. 水平度盘分划误差的检验;
f. 水平度盘偏心差的检验;
g. 照准部水准器格值的测定;
h. 光学测微器隙动差的检验;
i. 光学测微器行差的测定;
j. 垂直微动螺旋使用正确性的检验;
k. 水平度盘光学测微器对径分划线重合一次中误差的测定;
l. 照准部旋转时,仪器底座位移而产生的系统误差的检验;
m. 光学测微器分划误差的检验;
n. 水平轴不垂直于垂直轴之差的测定;
o. 按相应等级的观测方法、测回数和限差要求,试测一份四个以上方向的水平角成果。

7.2.3 光学经纬仪的检验与测定方法,按《国家三角测量和精密导线测量规范》的有关附录执行。

7.2.4 每期精密角度测量任务开始前,对精密光学经纬仪应检验 7.2.2 条中的 a、b、g、h、i、j、l、m、n 各项。7.2.2 条中的 d、f、g 三项一般每二至三年测定一次。7.2.2 条中的 e 项只在出厂后检验一次。

7.2.5 对于新购置的精密电子经纬仪,应首先检查仪器各部件的完损和效能情况,然后按以下项目进行检验:

a. 望远镜光学性能的检验;
b. 调焦镜运行正确性的检验;
c. 照准部旋转是否正确的检验;
d. 照准部偏心差的检验;
e. 水平度盘偏心差的检验;
f. 照准部水准器角值的测定;
g. 垂直微动螺旋使用正确性的检验;
h. 照准部旋转时仪器底座稳定性的检验;
i. 水平轴不垂直于垂直轴之差的测定;
j. 置零键中误差的测定;
k. 水平度盘直径误差的测定;
l. 电子细分的测定;
m. 一测回方向观测中误差的测定;
n. 按相应等级的观测方法、测回数和限差要求,试测一份四个以上方向的水平角成果。

7.2.6 每期精密角度测量任务开始前,对精密电子经纬仪应检验 7.2.6 条中的 a、b、c、g、h、i、j、k 各项。7.2.6 条中的 d、e、f 三项一般每二至三年测定一次。

7.3 各级水平控制网角度观测的技术要求

7.3.1 水平角观测一般采用方向观测法。当方向数不多于三个时,可不归零。必要时,亦可采用全组合测角法或其他能满足精度要求的观测方法。

若采用测角的方法不能满足精度要求时,亦可采用精密测距的方法,通过边长值,反算出相应的角度值。

7.3.2 方向观测法一测回的操作程序见《国家三角测量和精密导线测量规范》第77条。

7.3.3 当方向总数超过6个时，可分两组观测。每组至少应包括两个共同方向（其中一个为共同零方向），其两组共同方向角值之差，不应大于相应等级测角中误差的2倍。分组观测最后结果，按等权分组观测进行测站平差。

7.3.4 方向观测法各项限差不应超过表4的规定。

表4 (″)

经纬仪类型	光学测微器两次重合读数差	电子经纬仪两次照准读数差	半测回归零差	一测回内2C互差	同一方向值各测回互差
DJ05	—	0.5	4	8	4
DJ07	1	1	5	9	5
DJ1	1	1	6	9	6
DJ2	3	3	8	13	9

注：DJ05为一测回水平方向中误差不超过±0.5″的经纬仪。

7.3.5 全组合测角法一测回的操作程序按《国家三角测量和精密导线测量规范》第76条执行。

7.3.6 全组合测角法各项限差不应超过表5的规定。

表5 (″)

经纬仪类型	二次照准目标读数互差	上、下半测回角值互差	同一角度各测回角值互差
DJ05	1.5	2.5	3
DJ07	3	5	4
DJ1	4	6	5
DJ2	6	10	8

7.3.7 各等级测角控制网水平角观测技术要求应符合表6的规定。

表6

等级	方向观测法测回数				全组合测角法方向权 P				三角形最大闭合差
	DJ05	DJ07	DJ1	DJ2	DJ05	DJ07	DJ1	DJ2	(″)
一	15	20	—	—	30	40	—	—	1.45
二	9	15	18	—	18	30	36	—	2.46
三	6	9	12	15	12	18	24	30	4.88
四	2	3	5	7	4	6	10	14	9.76

注：$P=m\times n$。n为方向数，m为测回数。

7.3.8 各等级导线水平角观测的技术要求应符合表7的规定。

表 7

等　级	测　回　数				方位角闭合差 (″)
	DJ05	DJ07	DJ1	DJ2	
一	20	—	—	—	$0.8\sqrt{n}$
二	15	20		—	$1.4\sqrt{n}$
三	6	9	15	20	$2.8\sqrt{n}$
四			6	9	$5.6\sqrt{n}$

注：n 为测站数。

7.3.9 水平角观测成果的重测与取舍

a. 凡超出本规范规定限差的结果，均应进行重测。因超限而重测的完整测回，称为重测。因对错度盘、测错方向、读记错误、碰动仪器、气泡偏离过大以及其他原因未测完的测回，重新观测时，不算重测。

b. 一测回中 2C 互差超限或化归同一起始方向后，同一方向值各测回互差超限时，应重测超限方向并联测零方向。因测回互差超限而重测时，除明显孤值外，原则上应重测观测结果中最大和最小值的测回。

c. 零方向的 2C 互差超限或下半测回的归零差超限，应重测整个测回。

d. 方向观测法一测回中，重测方向数超过所测方向总数的 1/3 时（包括观测三个方向有一个方向重测），该测回应重测。

e. 采用方向观测法时，每站基本测回重测的方向测回数不应超过全部方向测回总数的 1/3，否则整站重测。

f. 方向观测法重测数的计算：在基本测回观测结果中，重测一个方向算作一个方向测回，因零方向超限而重测的整个测回算作$(n-1)$个方向测回。每站全部方向测回总数按$(n-1)m$ 计算，n 为该站方向总数，m 为测回数。

g. 三角形闭合差、极条件、基线条件、方位角条件自由项超限而重测时，应整份成果重测。

7.4 精密定向测量

精密定向测量可以采用天文方位角测量、精密陀螺定向等方法进行测定。作业要求参照相应规范执行。

7.5 上交资料

精密角度和精密定向测量工作结束后，应呈交下列资料；

a. 水平控制网略图，点之记或点位说明，技术设计书；

b. 仪器检验及其常数测定手薄；

c. 水平角和方位角观测手簿；

d. 水平角观测记簿、方位角计算、外业成果验算资料；

e. 技术总结，验收报告。

8 精密距离测量

8.1 精密距离测量的等级与基本精度规定（见表 8）。

表 8

mm

等　级	一级	二级	三级	四级
边长测距中误差	0.05	0.10	1.00	3.00

8.2 精密距离测量的等级与精度的具体确定，应根据精密工程项目的特点、精度指标、水平控制网的用途、目的等因素，综合分析，对照表 8 的规定选取。

8.3 按工程精度指标选用测距仪器，必要时，可根据工程的特点、精度要求，改进经典的测量手段、方法和仪器设备，设计、研制与观测方法、精度要求相适应的专用仪器设备。

8.4 整个量测系统要配置精密型的标准插座，供仪器、设备强制对中，标准插座的轴套和插轴的公差要求一般小于 0.025 mm。插轴式的照准标志十字丝刻划线粗度小于 0.020 mm，十字丝中心应和插轴中心一致，偏差应小于 0.020 mm。

8.5 精密距离测量所使用的读数设备，采用放大倍率为 10～20 的读数显微镜，测微器的格值为 0.01 mm。作业前应对测微器的分划值进行测定，实际值不等于标准值时，读数中应加以改正。温度计采用 0.2℃刻度的通风水银温度计。

8.6 进行周期性直线丈量的工程，在各个周期中都要采用同样的仪器、装备、同样的安置，采用同样的检定设备检定所使用的丈量仪器。

8.7 仪器、设备应精心使用与爱护，作业前对仪器设备进行检验与校正，确保在整个作业过程中，仪器设备保持良好状态。选择最有利的时间进行丈量，保证观测数据的准确、可靠。

8.8 精密距离测量中，应及时整理和检查观测成果，确认观测成果全部符合规范要求后，再进行计算。

8.9 精密距离测量的方法

8.9.1 嵌合尺测距

用于精密设备的安装，精度可达 0.030～0.050 mm。根据工程定位的要求，配置一套不同长度的嵌合尺。嵌合尺的双丝与嵌合尺强制对中轴衬中线的间距，要严格与相应的设计距离相等，嵌合尺双丝的宽度为 0.2 mm，刻线误差不大于 0.002 mm，配用的钢丝直径为 0.2 mm。作业时，在与嵌合尺设计距离相应的两个端点上拉紧钢丝，嵌合尺置于待安装设备点上，移动待安装的设备，借助于读数显微镜使嵌合尺双丝与钢丝重合，钢丝重新安置，由读数显微镜读取偏差值，偏差值小于 0.05 mm 时取中数调整。

8.9.2 杆尺测距

8.9.2.1 丈量工程设备上的基准点到控制点之间的线段及控制网中的短小距离所采用的杆尺，应由膨胀系数极小的因瓦合金或石英玻璃材料，精确加工制成具有一端点分划尺或两端点分划尺的杆尺。分划尺的分划值为 1 mm，刻线粗度为 0.015～0.020 mm，任何一根刻划线相对于零分划线的位置误差不得超过 0.005 mm，端点分划尺的另一端要配强制对中轴柱，中间应有置平用的水准器。

8.9.2.2 根据待测的长度，设计制成相应长度的杆尺使待测长度为杆尺的整倍数，对于精密距离测量一级精度要求，用 2 m 以内的杆尺丈量时，不超过三个尺段，用 2～4 m 的杆尺丈量时，不超过二个尺段。

8.9.2.3 利用杆尺丈量时，待测边长应设在同一高程面上。边长应往返丈量。

8.9.2.4 利用杆尺丈量直伸三角形的高时，要配置专用的引张设备，用 0.2 mm 直径的钢丝，标定三角形长边的方向。观测边长在 30～50 m 内时，气流对钢丝的侧面速度不应超过 0.1 m/s，边长在 30 m 内不超过 0.2 m/s。

8.9.2.5 杆尺在丈量前、后必须进行尺长检定，尺长检定中误差不得超过 0.010 mm，测前、测后标定值之差不应超过 0.020 mm。

8.9.2.6 利用两端点设有分划尺的杆尺精密丈量时，分别在前后标志、分划尺上，用读数显微镜各照准四次并读数四次（分划尺四个不同的位置上各照准一次，读数一次），读记杆尺温度为一测回，观测二个测回。利用一端点分划尺的杆尺精密丈量时，在前标志、分划尺上，用读数显微镜各照准四次，读数四次，读记杆尺温度为一测回，观测二测回，测回间将标志的强制对中轴柱旋转 180°。每尺段的距离由下面公式计算。

两端点设有分划尺的杆尺：

$$S(\mathrm{h}) = (a_1 - b_1) - (a_2 - b_2) + s_k + \Delta t \quad \cdots\cdots(8)$$

一端点设有分划尺的杆尺：

$$S(\mathrm{h}) = (a_1 - b_1) + s_k + \Delta t \quad \cdots\cdots(9)$$

式中：$S(\mathrm{h})$——每尺段距离；

a_1、b_1——前标志上显微镜分别在标志十字丝交点上和在分划尺上的相应读数；

a_2、b_2——后标志上读数显微镜分别在标志十字丝交点上和在分划尺上相应读数；

s_k——杆尺分划间的检定长度；

Δt——杆尺温度改正数。

8.9.2.7 杆尺量距的技术要求(见表 9)

表 9

mm

等级	杆尺类型	作业尺数	一测回读数次数	测回数		一测回读数间互差	测回间互差	估读取位	温度取位 ℃	往返边长互差
				往	返					
—	两端点设有分划尺	1	4	2	2	0.060	0.040	0.001	0.1	0.150
	一端点设有分划尺	1	4	2	2	0.040	0.030	0.001	0.1	0.150

8.9.2.8 一测回读数间互差超限时，重测二次读数，舍去最大和最小值后，若仍超限，应重新观测该测回。测回间互差超限时，重新观测二测回。往返测边长互差超限，应分析原因后重新观测。

8.9.2.9 精度评定：利用测回间的差按(10)式计算测距中误差

$$m = \pm\sqrt{[dd]/2n} \quad \cdots\cdots(10)$$

式中：d——测回平均值的差，mm；

n——d 的个数。

8.9.3 自动测距仪(distinvar)测距

8.9.3.1 用自动测距仪精密测量距离时，在被测距离的两端安置专门规格的基准标志，标志的中心必须是直径为 30 mm 的柱孔，并截取被测距离等长的因瓦线尺。

8.9.3.2 被测量点的结构，具有充分的钢性，绝对稳定，以保证当承受一定的拉力时，不致引起变形。

8.9.3.3 观测长度的计算公式

$$L = x + L_0 + (x + L_0)\alpha(t - t_0) + (x + L_0)\beta(t^2 - t_0^2) + (x + L_0)\gamma(t^3 - t_0^3) \quad \cdots(11)$$

式中：x——仪器探头读数值；

L_0——因瓦线尺的检定长度；

t——作业时温度；

t_0——检定时温度。

8.9.3.4 自动测距仪精密丈量的作业要求

a. 自动测距仪精密丈量，观测四测回，往返各二测回，返测时仪器设备互换位置，一测回读数四次；

b. 作业时温度要求在t_0±5℃以内(t_0为检定时温度)。每测回读记温度一次,读取温度时,温度计尽量与因瓦尺同高并靠近因瓦尺,气流对因瓦尺的侧面速度不能超过 2 m/s;

c. 作业前后对所用的因瓦线尺应作长度检定,检定误差不应超过 0.5 S(μm)。(S 为因瓦线尺的长度,以 m 为单位)。前后两次检定之差不应超过 1 S(μm)。

8.9.3.5 自动测距仪精密丈量的技术规定(见表 10)。

表 10

μm

等级	作业尺数	测回数		一测回读数次数	读数取位	温度取位	一测回读数间互差	测回间互差	往返边长互差	备注
		往	返							
一	1	2	2	4	0.01	0.1℃	≤3S	≤2S	≤0.15	对中≤10
二	1	2	2	4	0.01	0.1℃	≤3S	≤2S	≤0.30	对中≤25

注:S 为边长,以 m 为单位。

8.9.3.6 超限时重测的要求见 8.9.2.8 条。

8.9.3.7 精度评定见 8.9.2.9 条。

8.9.4 24 m 因瓦线尺测距

8.9.4.1 因瓦线尺应选择特别可靠的一等基线尺,刻划线粗为 15～20 μm,要求任何一根刻划线相对于零分划线的位置误差不得超过 5 μm,温度变化 1℃时,线尺每 1 m 的伸缩不超过 0.5 μm。

8.9.4.2 滑轮装置可按照不同的丈量距离、精度等级,采用常规的滑轮装置或精密滑轮装置。精密滑轮装置采用双轴承滑轮或刃口轴承滑轮。重锤应满足 10 kg±3 g,在丈量前检定一次。所用的重锤、滑轮必须与检定尺长时一致。

8.9.4.3 选择有足够高度和适宜重量的稳定、坚固的轴杆架。安置轴杆架时,使两相邻轴杆架的高差保持在 0.2 m 以下,各轴杆架的两个脚架尖应与测线平行,第三个脚尖交替于测线两侧。

8.9.4.4 露天作业时,对场地应进行清理和概量,边长总的坡度不应超过 1/300,轴杆架上的读数显微镜要精确安置在边长方向上,两相邻的读数显微镜不得偏离边长方向 3～4 mm,读数显微镜之间的距离为 24 m±1～2 cm。丈量时两读数显微镜应打伞。

8.9.4.5 距离丈量应由不同温度系数的二条一等基线尺,分别往返丈量,返测时观测员互换位置,丈量时基线尺不加重锤引张凉尺 30 min,作业时基线尺的横向风力不得超过 2 级,每尺段读取温度,温度计应尽量靠近基线尺。作业时的温度与检定温度之差不得大于 10℃。

8.9.4.6 轴杆架之间高差的测定,用 DS1 型水准仪及有正副尺的 1 m 轻便水准尺进行。水准仪在使用前需校正完善,高差的测定应往返观测,往测在丈量前,返测在丈量后。仪器设在距两相邻轴杆架大致相等的位置上,由一站读取的轴杆架不超过四个,轴杆架的高差依正副尺测定,正副尺读数差不超过 1 mm,正副尺所得的高差之差小于 1.5 mm,高差中数的中误差小于 0.4 mm。在测定两端点与相邻轴杆架之间的高差时,应将水准尺立于读数显微镜顶端,其它尺段,可直接测定轴杆头间的高差。

8.9.4.7 端点之间的距离最好为 24 m 的倍数,不得已才使用补尺,使用补尺应遵守下列原则:

a. 使用的因瓦补尺应经过严格的检定,测距的精度应达到±0.030 mm;

b. 使用补尺的地方应平坦,相邻轴杆头的高差小于 10 cm。

8.9.4.8 端点标志中心至显微镜中心的距离,观测四次,再将标志旋转 180°再测定四次,取八次中数为 l,l−4 mm 即为端点标志中心至显微镜中心的距离。为消除显微镜零点差,两端点应使用同一读数显微镜。

8.9.4.9 基线尺在丈量前后进行检定,时间应在丈量前后一个星期以内,尺长检定中误差不应超过±5 μm,丈量前、后检定值之差不应超过 20 μm。

8.9.4.10 丈量距离的计算公式

$$L = n \times 24\ \text{m} + n \times \Delta t + n \times \Delta l + (l - 4\ \text{mm})\ \text{后端} + \Sigma(\text{前} - \text{后})_a + \Sigma(\text{前} - \text{后})_b + (l - 4\ \text{mm})\ \text{前端} + \Sigma(\Delta h + \Delta p + \Delta\delta + \Delta g) \quad \cdots\cdots(12)$$

式中：

Δl——基线尺测前、测后两次检定尺长改正数的平均值；

Δt——温度改正(计算时应顾及温度膨胀系数的三次项)；

$(l-4\ \text{mm})$后端、$(l-4\ \text{mm})$前端——分别为两端点标志中心至相应读数显微镜中心的距离；

$\Sigma(\text{前}-\text{后})_a$——基线尺毫米以上前端读数减后端读数之和；

$\Sigma(\text{前}-\text{后})_b$——显微镜测微器前端读数减后端读数之和；

Δh、Δp、$\Delta\delta$、Δg——分别为高差、悬链线不对称、分划尺倾斜、重力变化的改正值；

n——丈量尺段数。

8.9.4.11 24 m 因瓦线尺精密丈量的技术规定见表 11。

表 11

mm

等级	最长距离 m	作业尺数	丈量总次数	读定次数	估读取位	温度取位 ℃	定线偏差	读数间互差	尺段高差互差	经各种改正后各尺全长互差	备注
一	80	2	4	4	0.001	0.1	5	0.06	1.5	0.15	精密滑轮
一	50	2	4	4	0.001	0.1	5	0.06	1.5	0.15	常规滑轮
二	200	2	4	4	0.001	0.1	5	0.06	1.5	0.30	精密滑轮
二	125	2	4	4	0.001	0.1	5	0.06	1.5	0.30	常规滑轮

注：利用精密滑轮或常规滑轮按二级精度丈量，当边长小于 100 m 或 80 m 时，读数间限差放宽 40%。

8.9.4.12 读数间互差超限时，再读二次读数，舍去最大和最小值后若仍超限，应重新测定四次读数。经各项改正后全长较差超限时，用二根线尺在一方向上各丈量一次，舍去最大和最小值后，若仍超限，应重新用二根线尺往返丈量全长。

8.9.4.13 精度评定：可按公式(13)计算测距中误差

$$m = \pm\sqrt{[dd]/2n} \quad \cdots\cdots(13)$$

式中：d——两根尺往返丈量中数的差数；

n——差数个数。

8.9.5 光电测距仪测距

8.9.5.1 根据光电测距仪厂家提供的每公里测距中误差 m_D，确定适用范围。用于三级精密距离测量时，m_D 应不超过 1 mm；用于四级精密距离测量时，m_D 应不超过 3 mm。

8.9.5.2 光电测距仪须进行下列项目的检验：

a. 发射、接收、照准三轴关系的正确性的检验与调整；

b. 发光管光相位不均匀的检验；

c. 幅相误差的检验；

d. 周期误差的检验；

e. 加常数和乘常数的检验(测前、测后检验)；

f. 棱镜常数的检验；

g. 内部符合精度的检验；

h. 精测频率的检验。

8.9.5.3 光电测距的作业要求

a. 作业人员应对仪器各部件的性能、作用及操作程序、方法、技术要求等全面了解后，方能独立作业，作业中，作业人员不得离开仪器或棱镜。

b. 仪器要有专人保管，须放在稳固的地方，避免振动。

c. 测距前，应预先将仪器、气压表、温度计打开，使其与外界条件相适应，经过一段时间后再观测。

d. 温度计宜采用通风干湿温度计，刻划为 0.2℃，气压表宜选用空盒气压表，使用前应送气象部门进行检验。

e. 在测回始末，分别在测线两端点上测定温度和气压数据，温度读至 0.1℃，气压读至 0.1 hPa，读取气象元素时，气压表应置平，防止指针搁滞，温度计须悬挂在离地面约 1.5 m 左右或与测距仪近似同高，不受阳光直射、受辐射影响小和通风良好的地方。测回始末所测的气象元素的互差(测站、镜站分别比较)，干湿温度不得超过 1℃，气压不得超过 1 hPa；

f. 距离观测时用的气象仪表，应和测距仪检定时所用的一致；

g. 测距边两端点的高差，用二等水准测量或相当精度的其他方法测定。

h. 量取仪器高和棱镜高，读至毫米；

i. 距离测量时，应在大气稳定和成像清晰的气象条件下进行，在雷雨前后、大雾、大风(4 级以上)、雨、雪天和大气透明度很差时，不应进行观测。

j. 测距时，严禁有另外的反光镜位于测线或测线延长线上，步话机暂时停止通话；

k. 在晴天作业时，应给测距仪、棱镜打伞，严禁将仪器照准头对向太阳；

l. 观测读数时，信号指示器指针应在最佳回光信号范围内；

m. 每次作业后，作业人员应对仪器及其附件进行清点、维护和擦拭，但注意手指不能接触镜头及反射棱镜。

n. 一、二级精密距离测量，应进行“边频”同测。频率计精度应不低于 1 Hz。

8.9.5.4 光电测距仪精密距离测量的技术要求

a. 光电测距仪精密距离测量采用往返(或二光段)观测，往返(或每光段)各观测二测回。一测回为照准目标一次，读数四次。测回间应重新照准目标。

b. 光电测距仪观测的各项限差(见表 12)

表 12 mm

等级	一测回读数次数	测回数		一测回读数间互差	单程(或每光段)测回间互差	同一水平面上往返测或光段间互差
		往	返			
		每光段				
三	4	3	3	$a+bD\times10^{-6}$	$\sqrt{2}(a+bD\times10^{-6})$	$2(a+bD\times10^{-6})$
四	4	3	3	$a+bD\times10^{-6}$	$\sqrt{2}(a+bD\times10^{-6})$	$2(a+bD\times10^{-6})$

注：小于 0.5 km，读数间及测回间限差仍按 0.5 km 的限差执行。

c. 当一测回中读数互差超限时，整测回重测。测回间互差超限时，重新观测二测回。往返测或光段间互差超限时，应分析原因后，重测单方向的距离，重测超限时，应重新观测往返两个方向的距离。

8.9.5.5 按往返观测之差进行测距边的精度评定：

a. 单位权中误差

$$\mu = \pm \sqrt{[pdd]/2n} \qquad \cdots\cdots(14)$$

式中：d——各边往返测距离之差；

n——测距边数；

p——各边距离测量的先验权，令 $p = 1/\sigma^2$；

σ——测距的先验中误差，可按测距仪的标称精度计算。

b. 任一边的实际测距中误差

$$m_i = \mu \sqrt{1/p_i} \qquad \cdots\cdots(15)$$

p_i——第 i 边距离测量先验权。

c. 如网中的边长相差不大，可按(16)式计算平均测距中误差

$$m_i = \pm \sqrt{[dd]/2n} \qquad \cdots\cdots(16)$$

8.9.5.6 倾斜边长的计算

a. 气象改正值计算，可按(17)式计算

$$\Delta D_n = S(n_0 - n_g)/n_g \qquad \cdots\cdots(17)$$

式中：S——观测距离 m；

n_0——仪器气象参考点上的折射率，由仪器设计给出；

n_g——作业气象条件下实际的群折射率，按仪器说明书指定的公式计算。

b. 频率改正值计算，按(18)式计算

$$\Delta S_f = [(f_0 - f_{测})/f_{测}]S \qquad \cdots\cdots(18)$$

式中：f_0——测距仪的标称(或显示)测距频率，Hz；

$f_{测}$——频率计测定的测距频率，Hz；

S——观测距离，m。

c. 仪器加常数、乘常数的改正值应根据仪器检测结果进行。

d. 周期误差的改正值按(19)式计算

$$\Delta D_A = A\sin[\varphi_0 + (2s/\lambda) \times 360°] \qquad \cdots\cdots(19)$$

式中：A——周期误差的振幅，m；

ϕ_0——周期误差的初相角，度；

λ——测距仪精测调制波长，m；

S——观测边的距离，m。

8.9.6 ME 5 000 精密测距仪测距

8.9.6.1 测前准备

a. 电池及报话机充足电源，并检查仪器附件和报话机收发功能；

b. 稳固地安置仪器于带有强制对中设备的观测墩上，置平仪器接通电源，注意仪器上六芯插口为电源插口，五芯插口为数据接口，连接电缆时红点对红点，要直接插入或拔出，不能扭转。应使仪器与外界条件相平衡，同时将温度计，气压计准备好；

c. 安置棱镜，对中(强制对中)、置平、并通过棱镜下面的瞄准器将棱镜对准仪器；

d. 仪器照准棱镜。

8.9.6.2 观测程序

a. 根据距离的远近选择测程档：

低档：20 m～1 000 m；

高档：500 m～8 000 m。

b. 将功能键搬到 REMOTE 档，出现“88888888”表示显示窗正常，然后显示“S”表示测距仪准备就绪，处于等待状态，将功能档扳到 MEASDRE 档，显示窗上依序出现五条短横线，表示谐振器正进行频率校准，然后出现字母“LAS”表示激光器已打开，已有激光射出。

c. 仔细照准棱镜使信号指针摆到绿色区，按 START/STOP 启动自动测量程序，约 1.5 min 后显示测量结果。

d. 重复测量，即按 START/STOP 钮，又显示测量结果。

e. 观测过程中的其他作业要求见 8.9.5.3～8.9.5.6。

f. 在条件允许时应采用测边又测频率的观测方法即“边频同测法”。

8.10 精密距离测量各种方法对成果记录的要求

8.10.1 原始观测的数据和记录项目，必须现场记录在规定格式的外业手簿中，字迹要清楚、整齐、美观、禁止涂改、擦改、转抄，外业手簿或记录必须进行编号，对超限或其他原因划去的成果应注明原因和重测成果所在的页数。

8.10.2 每测回要记全数一次，厘米和厘米以下的数值不得更改，米和分米的读数，在同一距离的往返观测中，只能更改一次。

8.10.3 采用电子外业手簿记录时应符合 ZB A76 003 测量外业电子记录基本规定的要求。

8.11 上交资料

精密距离测量工作结束后，应呈交下列资料：

a. 水平控制网略图，点之记或点位说明；

b. 测量器具长度检定书，测距仪检验资料；

c. 长度观测手簿，轴杆头水准观测手簿；

d. 长度计算资料，精度估算资料；

e. 技术总结，验收报告。

9 精密高程测量

9.1 精密高程测量的等级与精度规定见表 2。精密高程测量主要采用几何水准测量方法。也可采用液体静力水准测量或其他精密的高程测量方法。

9.2 几何水准测量

9.2.1 水准仪、水准标尺规格和技术要求

9.2.1.1 各级精密高程测量使用的仪器、标尺应符合表 13 的规定。

表 13

等　级	一级	二级	三级	四级
水准仪	DSZ05 DS05	DSZ05 DS05	DSZ05 DS05	DSZ1 DS1
水准标尺	双排分划小型因瓦标尺	双排分划小型因瓦标尺	双排分划 A 型因瓦标尺	双排分划 A 型因瓦标尺

9.2.1.2 用于一、二级精密高程测量的水准仪和水准标尺，除符合国家一等水准测量的要求外，还应选取调焦镜运行误差不超过 0.2 mm、测站高差观测中误差不超过 0.05 mm 的优质水准仪。

用于三、四级精密高程测量的水准仪和水准标尺，应符合国家一、二等水准测量的要求。

9.2.1.3 水准仪和水准标尺的检校项目限差和方法按 GB 12897 第 6 章的规定执行。用于一、二级精密高程测量的水准仪宜在室内或选择气温稳定的阴天进行检校。

9.2.1.4 新购置或经过修理的仪器、标尺，应全面进行检验。每期工程测量开始前与结束后以及作业中的检验项目、周期，依据工程测量的需要确定。

9.2.2 几何水准测量的观测方法和要求

9.2.2.1 几何水准测量采用的方法和技术要求按表 14 规定执行。

表 14　　m

项　目	一级	二级	三级	四级
视线长度	10	20	30	50
观测方法	光学测微法	光学测微法	光学测微法	光学测微法
独立路线数	4	4	2	2
观测顺序	(奇)后前前后 (偶)前后后前	(奇)后前前后 (偶)前后后前	(奇)后前前后 (偶)前后后前	(奇)后前前后 (偶)前后后前
前后视距差	≤0.1	≤0.2	≤0.5	≤1.0
前后视距累积差	≤0.3	≤0.5	≤1.0	≤1.5
视线高度(下丝)	≥0.5	≥0.5	≥0.5	≥0.5
基辅分划高差之差,mm	≤0.20	≤0.30	≤0.40	≤0.60

注：独立路线数为 4，表示往返双路线观测；2 表示往返单路线观测。

9.2.2.2 使用气泡式水准仪或单摆位自动安平水准仪观测时，当前后视标尺基本分划面观测完毕后，应变更仪器高度(不小于 5 mm)，再进行辅助分划面的观测。

9.2.2.3 当工作环境的工业磁场强度大于地球磁场二倍或者地面振动使自动安平水准仪不能照准时，应采用气泡式水准仪。

9.2.2.4 三、四级精密工程水准测量应按 GB 12897 中分别相应于一、二等水准测量的要求进行。

9.2.2.5 一、二级精密工程水准测量除遵守国家一、二等水准测量的要求外，尚须遵守以下事项：

a. 标尺宜置于同一高度的固定转点，仪器应置于仪器墩或可移动的仪器台上；

b. 观测应在室内进行。若仅能在露天观测，则应选择阴天进行或者在每天日出后 1～2 h 之间和

日落前 2～1 h 之间进行，此时应将水准仪及其脚架致于阴影下避免阳光直接照射；

c. 上午与下午的观测应在水准点或其他控制点上结束。

9.2.2.6 在进行用于变形观测的一、二级精密水准测量的同时，应进行地下水位、降水量、地温、气温、气压的辅助测量。

a. 地下水位观测，应在测线各端点附近的专用水井内进行。采用自记装置或人工量测。不具备专用水井时，也可在水准点附近的其他井内量测，同时记载采水量。所用水井应能反映对标石干扰最大的含水层的水位变化。水位观测应每日定时进行，读记至厘米。

b. 降水量观测，用自记雨量计或量雨筒进行。观测降雪时，须将承接的雪融化后，用量杯量取。观测应每日定时进行，读记至毫米。

c. 地温观测，可在地下埋设直管温度计，也可将接触式温度计设置在套管基岩标志的内外管间的蒽油中，每日定时观测，读记至 0.1 ℃。

d. 气温观测，应在室外百叶箱中使用自记温度计量测。每日量取 2、8、14、20 时的值，取中数为日平均气温，读记至 0.1℃。

e. 气压观测，可用自记气压计量测。气压计应置于固定位置。每日量取 2、8、14、20 时的值，取中数为日平均气压，读记至 10 Pa。

f. 辅助观测仪器需经计量部门检定后方可使用，并应按要求及时标定和维护保养，保证其正常运行。

9.2.3 限差规定与超限处理

9.2.3.1 往返测高差不符值、环闭合差和检测高差互差应不超过表 15 的规定。

表 15

mm

项　目	一级	二级	三级	四级
测段、路线同方向观测高差不符值	$0.15\sqrt{n}$	$0.25\sqrt{n}$	—	—
测段、路线往返测高差不符值	$0.1\sqrt{n}$	$0.2\sqrt{n}$	$0.4\sqrt{n}$	$1.2\sqrt{n}$
环闭合差	$0.06\sqrt{n}$	$0.1\sqrt{n}$	$0.2\sqrt{n}$	$0.6\sqrt{n}$
检测已测测段高差互差	$0.2\sqrt{n}$	$0.3\sqrt{n}$	$0.6\sqrt{n}$	$1.7\sqrt{n}$

注：n 为测站数。

9.2.3.2 测段、路线同方向观测高差不符值超限时，应立即重测。往返高差不符值超限时，先就可靠性较差的单程进行整测段重测，再分别情况进行处理：

a. 若重测高差与同方向原测高差超过往返测不符值限差，但与另一单程高差的不符值不超出限差，则取用重测结果；

b. 若同方向两高差不符值未超出限差，且其中数与另一单程高差亦不超出限差，则取同方向中数作为该单程高差；

c. 若 a 条中的重测高差或 b 条中两同方向高差中数与另一单程的高差不符值超出限差，须重测另一单程；

d. 若经两次或多次重测后，出现同向高差接近而异向高差超限的分群现象，且同方向高差不符值小于限差之半时，则取原测的往返测高差中数作为往测结果，取重测的往返测高差中数作为返测结果。

9.2.3.3 若路线往返不符值、环闭合差超限时，应就观测条件较差的某些测段进行重测。若重测高差与原测高差之差超过表 15 中的检测限差时，应对该测段相邻的测段进行检测，确定两端点的可靠性。

9.2.3.4 检测路线连接点的观测精度要求，按连接路线的最低等级实施。检测时，先单程检测一测段，若单程检测超限，则应检测该测段另一单程。若高差中数仍超限，则继续向前检测，以确定稳固的已测点

作为连接点。

9.2.4 成果记录和整理

9.2.4.1 几何水准观测成果可采用电子手簿或手工记录手簿。一切原始观测值和记录事项须在现场直接记录于手簿中。记录应采用规定的格式。每测段观测开始和结束时，均须记录观测日期、时刻、温度、天气、云量、风向、风力、呈像情况、前后标尺号码等。

9.2.4.2 观测手簿中，任何原始记录不得擦去和涂改。原始记录中的米、分米和说明性文字有误时，应以单线划去，在其上方写出正确的数字与文字，并应注明原因。作废的观测成果应以单线划去，并注明原因及重测成果记于何处。重测记录需加注“重测”二字，并须注明原作废成果记于何处。

9.2.4.3 观测读数及计算小数位按表16规定执行。

表16

mm

项　目	一级	二级	三级	四级
中丝观测读数	测微器最小分划的十分之一	测微器最小分划的十分之一	测微器最小分划	测微器最小分划
测站距离，m	0.1	0.1	0.1	0.1
测段距离，m	10	10	10	10
测站高差	0.001	0.001	0.01	0.01
测段高差	0.01	0.01	0.1	0.1
精度计算	0.01	0.01	0.01	0.01
水准点高程	0.01	0.01	0.1	0.1

9.3 流体静力水准测量

9.3.1 静力水准测量适用于特殊要求下的精密高程测量，也适用于通道窄小、光线昏暗以及有超量辐射、爆炸危险或有严重污染的环境中的精密高程测量。

9.3.2 静力水准测量可以采用固定式或移动式仪器。仪器的精度必须达到第5.2条的要求。

9.3.3 固定式静力水准仪适用于竣工后构筑物的变形观测。安装仪器的各个观测墩，须尽量设在同一水平面上，最大高差不得超过仪器的量程。固定式自动记录型的静力水准仪，安装调校和使用的规则见附录K。固定式静力水准测量，应计算整点值、日均值、五日均值，取至1 μm。并绘制各监测点变化速率图。

9.3.4 移动式静力水准测量，参照几何水准测量的格式进行手簿记录并编算高差表。

9.4 上交资料

精密高程测量工作结束后，应呈交下列资料：

a. 高程控制网略图，点之记或点位说明，技术设计书；

b. 水准仪、水准标尺检验资料；

c. 水准测量手簿、水准点上重力测量资料；

d. 外业高差改正数计算资料，外业高差表，变形监测资料；

e. 技术总结，验收报告。

10 精密准直测量

10.1 精密准直测量的等级与精度规定(见表17)。

表 17 (″)

等　级	一级	二级	三级	四级
偏离中误差	0.05	0.2	0.4	0.8

10.2 精密准直测量等级与精度的具体确定，应根据直线型建筑物、工艺设备的安装和检验或建筑物直线平面变形观测的精度要求，对照表 17 的规定选取。在采用合适的仪器和观测方法后，应严格按有关规定作业，保证观测数据的准确、可靠、完整。

10.3 精密准直观测，应根据精度的要求，采用或设计研制与观测方法相适应的精密仪器及配套的精密装备。作业前要对仪器和装备进行检验与校正，作业中如发现仪器异常时，要及时进行检验调整，在整个作业中，仪器与装备保持良好状态

10.4 精密准直测量的标志规格应根据地质条件确定，要稳固耐用。基准线的两端点要埋设在变形地区之外，中间检验点沿基准线的相互位置视建筑物的结构特点而定，应均匀地分布。基准线的端点和中间检验点均要埋设观测墩，墩高应高出地面 0.8 m 以上，墩标的底板必须埋设在最大冻土深度线以下 1 m 处，观测墩上必须预埋供仪器与觇牌通用的强制对中装置，强制对中装置的误差一般不大于 0.025 mm。

10.5 观测工作中，应及时整理和检查观测成果，确认观测成果全部符合规定后，方可进行计算。

10.6 精密准直测量方法

10.6.1 光学法

10.6.1.1 小角测量法

用精密经纬仪和固定觇牌，测定待测点相对于基准线的偏离值。

a. 采用放大倍率不小于 40 倍的 J1 型精密经纬仪。

b. 采用白色(或黄色)底面上绘制黑色标志的平面固定觇牌，照准标志的对称轴应垂直并与强制对中器同轴。觇牌应具备整平和照明装置。

根据不同的视线长度设计制作一套照准标志觇牌，可按(20)、(21)式计算照准标志的最佳宽度。

双线标志的缝隙宽度(用单丝瞄准)：

$$l = 3bS/f \qquad \cdots\cdots(20)$$

单线标志宽度(用双丝瞄准)：

$$l = \mu S/(2\rho) \qquad \cdots\cdots(21)$$

式中：S——视线长度，mm；

b——十字丝单丝宽度，mm；

f——物镜焦距，mm；

μ——十字丝所夹角值，(″)。

c. 小角测量法作业程序与要求

基准线两端点分别安置仪器与觇牌，待测点安置觇牌，由仪器分别照准两个觇牌，用目镜测微器读取角值，组成上半测回，变换测微器位置 5～7 分划，按上述操作，测得下半测回，构成一测回。

当测完往或返测回数一半以后，将仪器、觇牌的强制对中轴旋转 180°，观测另半数测回。

测量仪器至待测点的水平距离，按(22)、(23)式计算待测点相对于基准线的偏离值。

$$\delta_i = \alpha_i S_i / \rho \qquad \cdots\cdots(22)$$

式中：α_i——待测点偏离角，(″)；

S_i——待测点 i 至仪器距离，mm；

ρ——206265″。

往返观测平均值用下式计算：

$$\delta_i = (\delta_{i1} S_{i1} + \delta_{i2} S_{i2}) / (S_{i1} + S_{i2}) \qquad \cdots\cdots(23)$$

式中：δ_{i1}、δ_{i2}——分别为待测点 i 往、返观测偏离值，mm；

S_{i1}、S_{i2}——分别为待测点 i 往、返观测视线长度，mm。

d. 小角度观测法技术规定见表 18。

表 18 (″)

等级	基准线长度，m	测回数		半测回互差	测回间互差	成果取位 mm	同点往返偏离值互差，mm
		往	返				
3	≤1 000	4	4	≤4	≤3	0.01	$\leqslant 6\times10^{-6}\sqrt{S_1^2+S_2^2}$
4	≤1 000	2	2	≤4	≤3	0.01	$\leqslant 1\times10^{-5}\sqrt{S_1^2+S_2^2}$

注：S_1、S_2 分别为往返观测的视线长度，以米为单位。测回间互差为往返分别比较。

e. 半测回互差超限时，再观测上、下两个半测回，舍去最大和最小值若仍超限，应重测该测回。测回间互差超限时，应重测全部往测(或返测)测回。往返偏离值互差超限时，应重测该点全部成果。

10.6.1.2 活动觇牌法

利用精密视准仪或精密经纬仪，通过附有精密读数装置的活动觇牌测定待测点相对于基准线的偏离值。

a. 选用具有放大倍率为 40～60 倍的望远镜、跨水准器灵敏度为 2″的精密视准仪，精密经纬仪采用 J1 型精密经纬仪，照准中误差应不大于 0.″4。

b. 活动觇牌读数尺上的最小分划为 1 mm，游标最小分划为 0.1 mm，估读到 0.01 mm。根据视线的不同长度应具备一套照准觇牌，觇牌的照准标志设计和制作要求同固定觇牌(见 10.6.1.1 条)。

c. 活动觇牌在使用之前要测定零位置，零位置即照准标志的对称轴与对中装置中心线相重合时的觇牌读数。活动觇牌零位置的测定，须在相距一定距离的两个观测墩上，安置仪器与固定觇牌，定向后，取下固定觇牌，换上活动觇牌，将活动觇牌的照准标志移至仪器十字丝上，在读数设备上读数，重复六次，读数互差应小于 0.3 mm，是为往测。将仪器与觇牌对调，依同样操作要求进行返测，往返观测互差应小于 0.2 mm，取往返的平均值即为活动觇牌的零位置。

d. 作业前仪器的视轴与纵轴应位于通过强制对中装置中心的垂直平面内，觇牌照准标志的对称轴应垂直且与觇牌的旋转轴相重合。

e. 活动觇牌法的观测方式可根据工程的特点、现场条件、基准线的长度、观测精度的要求、仪器设备等因素，可从选用整条基准线观测方式、基准线分段观测方式、逐次推进的基准线观测方式进行。

f. 整条基准线的观测方式是在基准线两端点分别安置仪器与固定觇牌，定向后依次在每个待测点安置活动觇牌，移动活动觇牌，使照准目标标志位于仪器十字丝上，读取数值，移动活动觇牌从相反方向重新对准仪器十字丝，读取数值，各读取两次数值，组成一测回，对每一待测点进行二个测回，每一待测点进行往返观测，测回间将仪器觇牌的强制对中轴旋转 180°，重新定向，重新操作。

g. 分段观测方式是将基准线按待测点分布的具体情况，可分成二段或四段，每个待测点到基准线

或分段方向线的偏离值观测程序和作业要求同整条基准线观测方式。

h. 逐次推进的基准线方式是将仪器由基准线起点逐次推进，观测待测点至基准线或相应方向线的偏离值，每一待测点的观测次数，作业要求同整条基准线观测方式。

i. 活动觇牌法的技术规定见表 19。

表 19　　mm

等级		二级	三级		四级
观测方式		逐次推进	逐次推进		整条，分段
基准线长度		400～1 000	400～1 000	200～400	100～1 000
待测点个数		>5	≤5	≥3	
测回数	往	2	2	2	2
	返	2	2	2	2
读定次数		4	4	4	4
估读		0.01	0.01	0.01	0.01
成果取位		0.001	0.001	0.001	0.001
一测回读数互差		$\leqslant 8\times10^{-6}S$	$\leqslant 8\times10^{-6}S$	$\leqslant 8\times10^{-6}S$	$\leqslant 8\times10^{-6}S$
测回间互差		$\leqslant 4\times10^{-6}S$	$\leqslant 4\times10^{-6}S$	$\leqslant 4\times10^{-6}S$	$\leqslant 4\times10^{-6}S$
同一点往返互差		$\leqslant 3\times10^{-6}\sqrt{S_1^2+S_2^2}$	$\leqslant 6\times10^{-6}\sqrt{S_1^2+S_2^2}$		$\leqslant 10^{-5}\sqrt{S_1^2+S_2^2}$

注：S_1、S_2 分别为往返观测视线长度，以 m 为单位。

观测数据超限时，重测规定同小角度法。偏离值计算与精度估算公式见附录 H。

10.6.1.3　光学法准直观测中，待测点之间的水平距离量测精度应达到 1∶2 000。

10.6.1.4　光学法准直测量，必须利用最有利的观测条件与时间，一般应在日出之前和日落后或阴天、夜间进行，在白天进行时，一定要在成象清晰、稳定时进行作业，成象模糊或跳动时，不应进行观测。

10.6.2　引张线法

10.6.2.1　精密准直测量所使用的引张线，必须具有很强的耐断性能，直径均匀。可采用特高强度直径为 0.2～0.4 mm 的不锈钢丝。

10.6.2.2　用专用设备拉紧和移动引张线，引张力为引张线允许张力的 65%～70%。当直径为 0.2 mm、跨距为 50～100 m 时，张力取 30～50 N，直径为 0.4 mm、跨距为 200 m 时，张力取 100～150 N，跨距为 400 m 时，引张力取 200 N。

10.6.2.3　读数显微镜的测微器或垂直投影仪的读数指示器的最小分划值为 0.01 mm。

10.6.2.4　引张线准直测量，必须在空气处于静止状态时进行，气流对不锈钢丝的侧面速度，当钢丝长在 100 m 以内不应超过 0.15 m/s，钢丝长在 100～400 m 内不应超过 0.1 m/s。可采用引张线布置在防护筒里的措施，防护筒可用直径大于 100 mm 的塑料管。

10.6.2.5　用浮托引张线法时，可采用 0.4～0.6 mm 直径的特高强度的不锈钢丝，当跨距为 400 m 时，引张力取 200～250 N。

10.6.2.6　引张线法观测程序

a. 用显微镜或垂直投影仪在基准线两端点安置引张线，稳定后（经过 5 min 左右），在第一个待测点上安置显微镜或垂直投影仪进行观测，依次观测到最后一个待测点，作为往测。每个待测点读数四次

为一测回。

b. 返测时，重新安置引张线并把引张线沿纵向方向移动一段距离，仪器的置中插轴旋转 180°后，从最后的待测点开始，按上述要求逐点观测。往返各一测回。

10.6.2.7 引张线法观测偏离值的精度计算，按往返观测偏离值之差，用通常的双观测中误差公式计算。

10.6.2.8 引张线法观测偏离值的技术规定见表 20。

表 20

mm

等级		三 级		四 级		
观测方法		光学引张线法	浮托引张线法	光学引张线法	光学引张线法	浮托引张线法
基准线长度 L,m		100～140	50～400	30～100	140～400	140～400
测回数	往	1	1	1	1	1
	返	1	1	1	1	1
读数次数		4	4	4	4	4
估读		0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
成果取位		0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
读数互差		≤0.100 0.1～0.22[1)]	≤0.100	≤0.100 0.1～0.22[1)]	≤0.100 0.1～0.22[1)]	≤0.100
往返观测互差		≤0.002 9 L	≤0.002 9L	≤0.005 7L	≤0.005 7L	≤0.005 7L

注：1) 引张线高于作业面 1～4 m 时相应读数限差。

10.6.2.9 读数互差超限时，再测两次读数，舍去最大和最小值若仍超限，应重新观测该测回，往返观测互差超限时，应对超限的待测点重新进行往返观测。

10.6.3 衍射法

10.6.3.1 衍射法精密准直测量的主要设备有照明器、单缝隙觇牌、活动式的双缝隙觇牌和一个衍射光的接收器。照明器的望远镜筒选用长焦距，光源选用功率不低于 50 W 的白炽灯泡，照明器还应配上附有上下左右调整螺旋的基座。单缝隙觇牌应配置强制对中的标准插轴，有调整螺旋的底座，觇牌的承影屏幕除缝隙外，要确保不透光。双缝隙觇牌除满足单缝隙觇牌的要求外，还应配置和觇牌连接的可滑动的滑块和刻划值为 0.01 mm 的千分表。光接收器同样要配置强制对中装置、可调整光接收器十字丝的调整螺旋、光罩及插入光罩的放大倍率不小于三倍的放大镜镜筒。

10.6.3.2 单缝隙觇牌、双缝隙觇牌可用宽度为 70～80 mm、厚度为 1 mm 的硬铝板制成。制作时，要使缝隙垂直，缝隙的宽度都相同，彼此平行。

10.6.3.3 单缝隙觇牌的单缝隙宽度，双缝隙觇牌的双缝隙宽度及双缝隙之间的间距应按在不同长度的基准线能获得足够清晰、亮度较大的干涉图形，并能获得足够的干涉图条带数，综合考虑，设计制作。也可采用表 21 中所列参数。

表 21

mm

基准线长度 m		25	50	75	100
单窄缝的宽度	$k=21$	0.16	0.33	0.49	0.65
	$k=25$	0.28	0.55	0.83	1.10
双窄缝标志的缝隙宽度	$k=21$	1.0	1.0	1.0	1.0
	$k=25$	0.5	0.5	0.5	0.5
双窄缝标志缝隙间的间距	$k=21$	9.5	9.5	9.5	9.5
	$k=25$	5.75	5.75	5.75	5.75

注：k 为干涉图总条带数。

10.6.3.4 光接收器的十字丝双丝的宽度必须要和干涉图条带的宽度相适应，可按表 22 选择宽度。

表 22

mm

基准线长度 m		25	50	75	100
光接收器十字丝双丝的宽度	$k=21$	0.5	1.0	1.5	2.0
	$k=25$	0.9	1.7	2.6	3.5

注：k 为干涉图总条带数。

10.6.3.5 单缝隙觇牌与双缝隙觇牌的缝隙对称轴，应平行于强制对中器的竖轴，观测前必须进行检验与调整。

10.6.3.6 衍射法精密准直的程序和作业要求

a. 基准线两端点安置照明器、单缝隙觇牌、光接收器。照明器接通电源，光源放在镜筒的焦点上，使射出的光束朝向接收器，并对称地掩盖单缝隙标志缝孔。

b. 将活动式双缝隙标志安置在待测点上，转动觇牌的测微螺旋使干涉图的对称轴与光接收器的等分面轴重合，在指示器上读取数值，估读到 0.001 mm，重复四次后，将双缝隙标志在轴套内转动 180°，重新观测四次，即在双缝隙标志的两个位置上分别读取四次数值(指示器在左为 L，指示器在右为 R)。双缝隙标志的零位值 M_0 按(24)式计算：

$$M_0 = (L + R)/2 \qquad \cdots\cdots(24)$$

上半测回偏离值 δ_1 按(25)式计算：

$$\delta_1 = M_0 - L = R - M_0 \qquad \cdots\cdots(25)$$

以上组成半测回，将光接收器和单缝隙标志转动 180°后重复上述操作，组成下半测回并计算下半测回偏离值 δ_2，一测回的偏离值 δ 按(26)式计算：

$$\delta = (\delta_1 + \delta_2)/2 \qquad \cdots\cdots (26)$$

偏离值的观测采用往返观测，返测时，将单缝隙觇牌、照准器和光接收器互换位置，按往测观测程序和要求进行。

c. 在整条基准线上应采用同一双缝隙觇牌和同一单缝隙觇牌。

10.6.3.7 衍射法精密准直观测应选择最有利的观测时间，应在日出前、日落后的昏暗时间内进行。

10.6.3.8 衍射法精密准直测量的技术规定见表 23。

表 23 mm

等级		三级	四级
基准线长度 m		≤100	≤50
测回数	往	1	1
	返	1	1
半测回读数次数		8	8
估读		0.001	0.001
成果取位		0.01	0.01
半测回读数间互差		≤0.10	≤0.06
半测回平均值互差		≤0.05	≤0.03
往返互差		≤0.29	≤0.20

10.6.3.9 半测回读数间互差超限时，重测两次读数，舍去最大值和最小值，若仍超限，应重新观测半测回。半测回平均值互差超限时应重新观测一测回，往返互差超限时重新进行往返观测。

10.6.4 波带板激光准直法

10.6.4.1 波带板激光准直系统由激光器点光源、波带板装置、光电探测器组成。激光器点光源选用 He-Ne 气体激光器，激光波长 λ 为 6 328 A，输出功率应根据准直距离而定，通常为 1～3 mW，激光通过针孔光栏发射出去，针孔光栏的孔径取 0.3～0.5 mm。波带板要固定在专用支架上，支架配置强制对中和置平装置，对中误差不得超过 0.1 mm。对于一级精度要求或基准线长度在 100 m 内对中误差不得超过 0.025 mm。波带板对称轴应与支架竖轴一致，光电探测器采用自动找中位移显数探测器，自动显示最小读数为 0.01 或 0.1 mm，光电探测器的灵敏度应使显数重合误差不得超过 0.03 或 0.3 mm。

10.6.4.2 波带板的设计、制作必须考虑波带板的焦距、有效面积、透明波带的数目及相应的宽度。波带板焦距的设计应能保证在记录装置的接物平面内形成点光源或十字丝的影象，应根据待测点的具体位置，对每一待测点设计专用的波带板(位于基准线中点两边基本上相对称的待测点可以用相同焦距的波带板)。波带板焦距按(27)式计算：

$$f = ab/(a + b) \qquad \cdots\cdots (27)$$

式中：a——光源至波带板的距离；

b——波带板至光电探测器距离。

波带板实用面积的有效宽度按(28),(29),(30)式计算：

$$d_0 = \sqrt{\lambda f(1-k)/2} \quad \cdots\cdots(28)$$

$$d_1 = \sqrt{\lambda f(4n-1-k)/2} \quad \cdots\cdots(29)$$

$$d_2 = \sqrt{\lambda f(4n+1-k)/2} \quad \cdots\cdots(30)$$

式中：$k=0.797$；

d_0、d_1、d_2——分别为波带板对称轴至中央波带、至透明波带内外边缘的距离；

f——波带板焦距；

n——透明带数目，取 $n=5\sim7$。

10.6.4.3 波带板准直测量的程序与要求

波带板准直测量采用往返观测。

a. 往测时，激光器和光电探测器分别安置于基准线外适当距离处，要使激光器和光电探测器对基准线两端点尽可能对称安置，并靠近基准线，调制激光光束，聚焦后通过针孔光栏发射出去，调制光电探测器，使指针表为零，并对准激光光斑，依次安置波带板于基准线端点、待测点、基准线终点，每一位置光电探测器显数五次后，组成上半测回，波带板旋转 180°，再显数五次为下半测回，取十次读数，为一测回。

b. 返测时，激光器和光电探测器互换位置，重新调制激光光束和光电探测器后，按往测步骤、要求进行返测。

c. 计算待测点偏离值和估算观测精度的公式见附录 H。

10.6.4.4 激光器、光电探测器、波带板均应安置在同一高度上，视线离地面不低于 1.2 m。观测必须选择有利的观测时间，应在日落以后、日出之前或夜间进行观测。

10.6.4.5 波带板准直测量的技术规定见表 24 和表 25。

表 24

mm

等　级		三　级	四　级
作业条件		室外	室外
基准线长度 L(m)		400～1 000	200～400
测回数	往	1	1
	返	1	1
一测回读数次数		10	10
成果取位		0.01	0.01
半测回间显数互差 显示最小值 0.01 显示最小值 0.1		 ≤0.06 ≤0.6	 ≤0.06 ≤0.6
同点往返观测值互差		≤0.003L	≤0.006L

表 25

mm

等　级		一　级	二　级		三　级		四　级	
作业条件		真空筒内	室　内		室　内		室　内	
基准线长度 L(m)		600～3 000	400～1 000	600～1 000	200～400	400～600	50～200	100～400
测回数	往	1	1	1	1	1	1	1
	返	1	1	1	1	1	1	1
一测回读数次数		10	10	10	10	10	10	10
成果取位		0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
半测回显数互差 显示最小值 0.01 显示最小值 0.1		0.06	0.06	0.6	0.06	0.6	0.06	0.6
同点往返观测值互差		≤0.0004L	≤0.002L		≤0.003L		≤0.006L	

10.6.4.6　半测回显数间互差超限时，应再显数两次，舍去最大和最小值，若仍超限，应重测该半测回。同点往返互差超限时，重新进行往返观测。

10.7　上交资料

精密准直测量工作结束后，应呈交下列资料：

a.　精密基准线位置图(标出已知点和待测点位置、编号)；

b.　准直仪器检验资料；

c.　准直测量手簿，偏离值计算与精度估算；

d.　技术总结，验收报告。

11　精密垂准测量

11.1　精密垂准测量的等级与精度规定见表 26。

表 26

等　级	一级	二级	三级	四级
垂准相对中误差	1∶300 000	1∶200 000	1∶150 000	1∶100 000

11.2　精密垂准测量的等级与精度，应根据工程项目的特点、垂准的高度、精度要求、作业条件、仪器设备等因素，综合考虑、分析、对照表 26 的规定选取。

11.3　精密垂准测量的方法与作业要求

11.3.1　正垂法

利用 0.15～0.2 mm 的不锈钢丝，上端用专用的弹簧夹固定在标志强制对中轴柱的中心，钢丝下端连接一个与垂线长度相适应的重锤，重锤要安置在有粘性、不冰冻液体的器皿中，在待测点上安置最小分划为 0.01 mm 的坐标仪，或安置两个成 90°配置的读数显微镜，按二个互相垂直的方向各读取四次读数为一测回，观测二测回，测回间稍拨动钢丝，稳定后进行观测，分别取二个方向的全部读数的中数，用待测点标志头上的微动装置在二个方向上分别使其对中，钢丝应加防风保护筒，重锤上设止动叶片。正垂法的技术规定见表 27。

表 27

mm

等　级	二　级	三　级	四　级
垂准高度,m	≤10	≤20	≤30
测回数	2	2	2
一个方向读数次数	4	4	4
同一方向读数间互差	≤0.03	≤0.05	≤0.10
同一方向测回间互差	≤0.10	≤0.26	≤0.50

同一方向读数互差超限时,再测二次,舍去最大和最小值,若仍超限,应重测该方向四次读数。同一方向测回间互差超限时,应再观测二个测回,舍去最大和最小值,若仍超限,同一方向的观测数据应全部重新观测。

11.3.2　倒垂法

利用 0.15～0.20 mm 的不锈钢丝,下端固定在标志锚块中心上,上端连接一个球状浮子,浮子需带有十字丝的连杆,使十字丝的中心与地锚中心同轴,球状浮子置于灌满液体(水或粘性很小的机油类液体)的液箱中,由浮力将钢丝拉紧。应采取防风及缓冲球状浮子转动的措施,在待测点上的坐标仪或读数显微镜及作业要求、步骤同正垂法。倒垂法的技术规定见表 28。

表 28

mm

等　级	二　级	三　级	四　级
垂准高度,m	≤15	≤30	≤40
测回数	2	2	2
一个方向读数次数	4	4	4
同一方向读数间互差	≤0.03	≤0.08	≤0.15
同一方向测回间互差	≤0.15	≤0.40	≤0.80

观测数据超限时,重测规定同正垂法。

11.3.3　光学垂准仪器法

11.3.3.1　附有分划值为 0.01 mm 读数指示器的光学垂准仪观测程序与作业要求。

a.　仪器置于支架或控制点轴套内,由管水准器整平仪器,精密转动仪器,用照准螺旋和微动螺旋使照准筒的十字丝的水平平分丝照准上(下)标志的刻划线,由读数指示器读取数值,三次照准,三次读数取值,取其平均值,为半测回,照准筒旋转 180°,重新用照准筒十字丝的水平平分线照准上(下)标志的同一条刻划线,按上半测回要求,读取三次读数,取其平均值为下半测回,取上下半测回的平均数。观测二测回,测回间重新置平仪器,重新照准,按二测回的平均值,并用微动螺旋置于读数指示器上,移动上(下)标志使其刻划线的象与照准筒的十字丝的水平平分丝重合。

b.　仪器照准筒转动 90°,按上述步骤与要求,使上(下)标志的另一刻划线(与前一刻划线垂直)的象与照准筒上十字丝的水平平分丝相重合。

c.　检查照准筒在所有四个方向的位置上,照准筒十字丝的水平平分丝,与上(下)标志的相应分划线重合情况,均重合则对中结束。否则还需根据偏差情况,做相应的重复操作,直至完全重合。

11.3.3.2　不具备读数设备的光学垂准仪观测程序与作业要求

a. 仪器整置于三脚架上，置中仪器的圆水准器，松开三脚架固定螺旋，移动仪器，使十字丝与上(下)标志中心重合，此时要检查仪器是否正确置平，可按一下目镜下面的按钮，目标将显示在十字丝上摆动，然后平稳地浮动回原来位置，如果移动过快或突然停止，应检查圆水准器是否置平，或圆水准器应作校正。

b. 移动待测点上(下)标志，使与仪器十字丝精确重合，将上(下)固定标志的轴套旋转 180°，仪器重新移动，使仪器十字丝与上(下)固定标志中心重合，观测待测点上(下)标志十字丝调整在中间，将仪器旋转 180°按上面步骤，观测待测点上(下)标志十字丝位置，并细心地调整待测点上(下)标志十字丝于平均中间位置上，以上操作为一测回，仪器旋转 90°或 270°，每一位置按上述作业要求完成第二测回，观测的结果应符合第一测回的结果。

11.3.4 光学垂准仪的检验

11.3.4.1 ОЧП“底点”“天顶”光学垂准仪，PZL 光学垂准仪的主要检验项目：

a. 照准筒的照准轴与筒的旋转轴必须相重合；

b. 视线的垂直线必须严格保证其垂直性。

11.3.4.2 ZL、NL 光学垂准仪的主要检验项目：

a. 视线的垂直性；

b. 水准器的检验。

11.3.5 光学垂准仪精密垂准的技术规定见表 29。

表 29

mm

等级	仪器类型	垂准高度 m	一个方向测回数	半测回读数间互差	半测回读数次数	一个方向测回间互差
一	PZL ОЧП	≤7 ≤4	2	≤0.03	3	≤0.06
二	PZL ОЧП	≤10 ≤7				≤0.12
三	PZL ОЧП	≤20 ≤12				≤0.20
四	ОЧП	≤18				≤0.30
二 三 四	ZL、NL	≤7 ≤20 ≤30	逐次观测、调整，使完全对中			

观测数据超限时，重测规定同正倒垂法。

11.4 上交资料

精密垂准测量工作结束后，应呈交下列资料：

a. 垂准观测点位置图和点位说明；

b. 垂准仪验收资料；

c. 垂准观测手簿；

d. 技术总结和验收报告。

12 精密工程测量数据处理和管理

12.1 精密工程测量数据处理和管理的基本任务

收集精密工程测量的完整资料；对观测资料进行预处理；提取与工程测量有直接关系的信息；进行测量平差计算和统计分析，提供精密工程测量成果；建立相应的测量数据处理、管理和应用系统。

变形监测网的数据处理还应包括排除外界干扰因素的影响，提取与变形过程有关的信息，对变形原因进行分析并尽可能地对未来的发展趋势提出预报意见。

12.2 精密工程测量数据处理和管理的一般流程

a. 收集精密工程测量外业资料和其他来源资料，并进行检查验收。

b. 汇总资料和存入计算机。

c. 资料预处理和信息提取。

d. 平差计算，统计分析，形成并输出成果。

e. 提出意见和建议。

12.3 收集资料的基本内容和要求

12.3.1 主要观测资料

水平测量控制网(包括准直基准线)的技术设计书、控制网设计图、点位说明、水平方向观测报告、距离测量的外业手簿及成果表、野外作业的技术总结、已有控制点情况、已有平差结果及说明等。

高程测量控制网的技术设计书、控制网设计图、水准点位说明、水准测量或流体静力水准测量观测手簿、高程成果表、野外作业的技术总结、已有水准点情况、已有平差成果及说明等。

GPS 测量、近景摄影测量的观测记录和计算资料、成果表及说明等。已有的变形测量资料。

12.3.2 辅助观测资料

观测过程中的气象观测资料(一般在相应的外业观测成果表中有记载)，地下水位观测资料、仪器检验资料(包括检定单位、执行的规范以及法定计量手续)等。

12.3.3 环境参考资料

测区及其附近的地质构造、水文地质、工程地质、局部地震的时空分布、震源、裂度及影响、区域性气候情况、人类活动及重大工程建设的影响等。

12.3.4 所有应收集的资料均应及时、完整，并有可靠性评价，各种资料应注明单位名称、作者姓名、完成年代。

12.4 资料预处理和信息提取的基本内容和要求

12.4.1 尽可能利用收集到的辅助资料和参考资料，必要时到现场勘察，尽量查找观测中出现的异常现象和有疑问的问题，并综合分析各种干扰因素，用几何的或物理的方法来消除观测值中的错误和易发现的系统误差和粗差。

12.4.2 运用一系列统计检验方法，进一步发现和剔除系统误差和粗差。例如均值检验，方差检验、正态分布检验以及相关性检验等。

12.4.3 利用可靠性理论对粗差定位和剔除，可采用数据探测法或稳健估计法剔除粗差，提取和保留有实际意义的信息。

12.5 测量平差计算与验后统计分析

12.5.1 对假设服从正态分布的观测值利用最小二乘原理进行严密平差计算。除变形监测网外，均采用独立固定基准下的参数平差法(包括带有限制条件的参数平差法)，对平差结果进行统计检验，对平差值提出质量上的合理评定。

在进行平差计算之前，应首先对观测值进行下列的归算和验算：

a. 对精密水平控制测量成果应首先归算至参考椭球面，对三角测量的方向值根据需要应加入垂线偏差改正、照准点标高差及截面差改正，对电磁波测量的距离应加入距离改正化算成椭球面上相应两点间的大地线长度或某一参考面上的两点间的弧长，再把椭球面上的值化算到高斯投影面或某种投影面。经过以上归算得到平面上的角度、边长和方位角，应进行图形条件和极条件等几何条件的检验；

b. 对精密高程控制测量，外业成果根据工程需要加入尺长改正、标尺温度改正、正常水准面不平

行改正、重力异常改正以及潮汐改正(又称日月引力影响改正),并以改正后的高差成果进行水准环线几何条件的检验;

12.5.2 通过严格的统计检验,引入必须的未知参数建立准确合理的函数模型。还应顾及起始数据误差并引进补偿系统误差的附加系统参数。

12.5.3 对于随机模型的处理可分为验前估算和验后估计两种方法。验前估算观测值的权,对水准测量,同等级的平坦地区可取 $1/S$(S 为水准线路长度,以 km 计),山区可取 $1/n$(n 为测站数),不同等级的权比可根据本规范给出的相应精度或由外业往返高差不符值评定的精度算出;对三角测量,水平方向观测值的权,对同等级可取等权,不同等级的权比可按本规范给出的相应精度或由外业评定的精度(比如用菲列罗公式计算的精度)算出;对电磁波测距边的权可按仪器的标称精度或由外业评定的精度(比如对向观测不符值计算的精度)算出;对 GPS 网观测值的权,可按 GPS 随机软件算出的坐标精度或边长和方位角的精度算出。

验后估计观测值的权,应在平差的同时进行验后方差分量估计,将观测值的方差作为未知数,在平差过程中连同未知参数一起求得。

当观测值相关时,应由它们的协方差阵求出相应的非对角的相关矩阵,再进行相关平差。

12.5.4 平差过程中应同时对平差值及其函数特别是相邻点相对点位中误差进行精度评定。必要时也要对点位、边长、方位角等进行精度评定,其目的是进一步指明计算、分析及研究所提供数据的可信度。

12.5.5 对变形监测网,宜采用秩亏自由网平差,在平差中还应注意以下两点:

a. 各期资料应采用同一坐标系统并选择一个适当的稳定的起算基准;

b. 当一期资料观测时间延续较长时,应顾及到观测期间内地壳运动的因素影响。

12.5.6 变形监测网平差应对位移、倾斜和应变等进行计算和分析。对于位移场,应作自由网可靠性检验,总体变形检验和稳定点组的检验。

12.5.7 计算倾斜与垂直变形。利用垂直位移计算局部地区倾斜,利用多期观测高差求解倾斜变化率、进行任意方向的倾斜以及升降平均间隙的计算。

12.5.8 监测网平差最后根据工程需要绘制相应的变形图。比如垂直变形剖面图、点位高程变化图、垂直变形等值图以及垂直位移矢量图、点位水平位移矢量图以及应变分布图等。

12.6 精密工程测量数据库系统的建立

12.6.1 大型精密工程历经勘测、设计、施工、安装、调试、竣工验收以及变形监测等多个阶段,具有工期长、观测类型复杂、观测数据繁多以及组织管理复杂等特点,为对测量工作和观测资料有效地管理和使用,应在计算机上建立专用的精密工程测量数据库系统。

12.6.2 测量数据库主要有两个大库组成,一个是数据信息库,它存放全部测量信息;另一个是软件系统库,它存放处理和控制信息的各种程序。

12.6.3 精密工程测量数据库应满足的要求

a. 具有合适的库功能。数据信息库应能存贮水平控制测量、高程控制测量、GPS 测量等观测数据并具有编辑检索能力。软件系统库应具有数据预处理、各种平差计算、施工放样计算、变形分析等功能。还应具有工程事务管理的能力,能存贮有关工程建设地区环境说明、坐标系转换参数、各种技术文件和图件、仪器设备档案、测量及工程的规划及流程进度表等。

b. 操作简便。一般采用中文菜单提示,人机对话,可接受多种入库方式。

c. 安全可靠。对不同使用者分级予以不同的使用权限,系统设有自检功能,能按密码自动识别和开闭。

d. 必要的设备配置。在工程测量中,主要使用微机建库,同时应配备 24 针打印机、数字化仪、绘图仪等。

e. 配备认真操作和维护的管理人员和操作人员。

12.6.4 精密工程测量数据库系统的建立可分为四个阶段

a. 分析阶段。明确建库的目的，任务和库功能。写出建库说明书。

b. 设计阶段。确定建库语言、软件模块结构，给出系统的逻辑结构总体设计图(参见附录N)。

按模块结构的总体设计划分为若干子模块设计，可分为输入设计、数据处理设计、输出设计、数据编辑和数据字典的设计。并写出子模块说明书和程序流程图。

c. 编写和调试阶段。将子模块说明书和程序流程图用某种程序设计语言编写成源程序，并选取实例启动程序，验证程序的正确性，将各子模块联系成数据库系统进行调试。

d. 运行和维护阶段。经过调试合格的数据库系统，可以输入测量数据和其他信息投入运行。管理人员应对系统进行维护，使程序和数据始终处于正确状态。

附 录 A
平面基准点标志
（补充件）

A1 机械传递式倒锤装置（如图 A1、图 A2、图 A3）

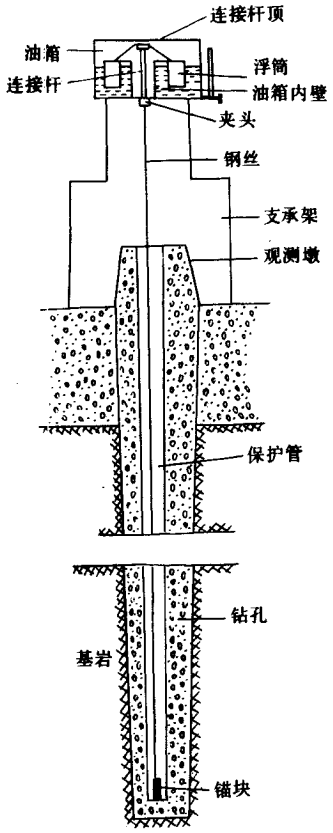


图 A1

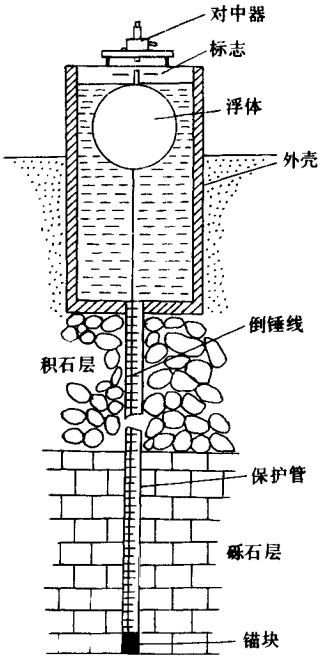


图 A2

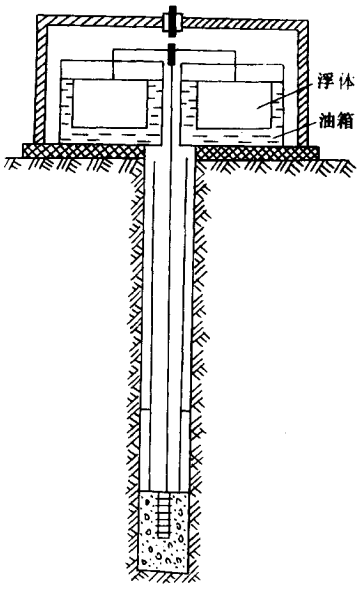


图 A3

说明：机械传递式倒锤装置是利用钻孔将垂线（通常是直径为 0.8～1.0 mm 的不锈钢丝）一端的连接锚块深埋到基岩之中。垂线另一端与浮体相连接，垂线在浮力的作用下被拉紧，始终可以恢复到铅直的位置上，并静止于该位置。

A2 光线传递式标志(如图 A4)

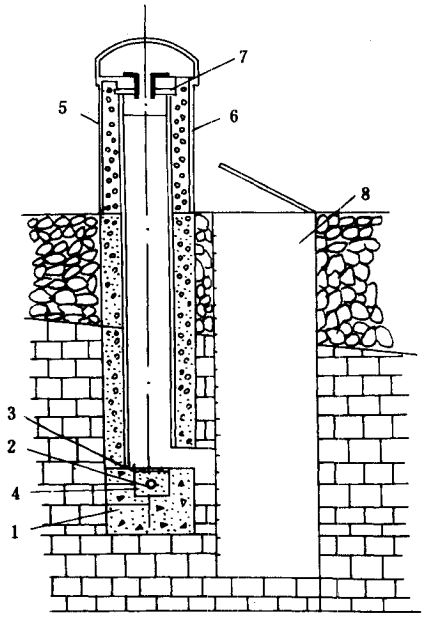


图 A4

说明:光线传递式标志是将固定在底层的中心点利用光线投射到标志顶面上来,即利用光线代替倒垂线。其基本结构为:标志下部为 40×40×40(cm)的混凝土方块 1,埋设在温度变化接近于零的岩层中。混凝土方块中有一预留孔 4,用于放置灯泡 2 及玻璃片 3,片上的十字丝交点代表标志中心。标志中部为铅直埋设的内外两层钢管,内管直径约300 mm,外管 5 的直径比内管直径大 100 mm,其间的空隙,下端用沥青填实,上端用轻质绝热材料 6(如玻璃纤维或矿渣)填实。钢管上部是一固定的标志头 7,利用反向手轮装置可将其顶面调节到设计高度上。为更换灯泡,在标志旁设置有进人孔 8。

A3 刚体支架式标志(如图 A5)

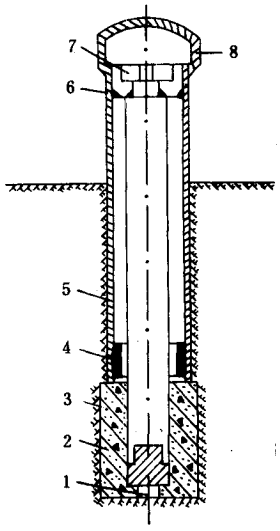


图 A5

说明:刚体支架式标志由园筒 3 及为使标志头装置到作业平面上的调整螺旋 1 组成。借助于混凝土地锚 2 将园筒 3 固定在下面稳定的岩层上,园筒 3 设有直径为 145～168 mm 的套筒式保护外罩 5,为防止落入泥土,在园筒及保护筒空间里安置专用的柔性的盘根 4,在标志点上面设有棉布制的保险装置 6。护盖 8 盖着标志头 7。

附 录 B
平面点标志
（补充件）

平面点标志一般由墩体（其规格见图 B1、图 B2）、仪器强制对中装置（见图 B3、图 B4）及护盖组成。

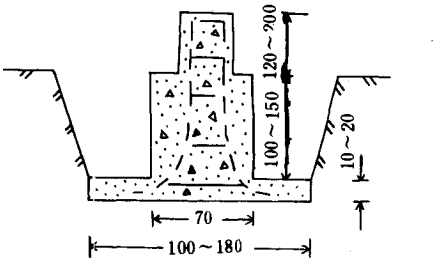


图 B1 土层标墩

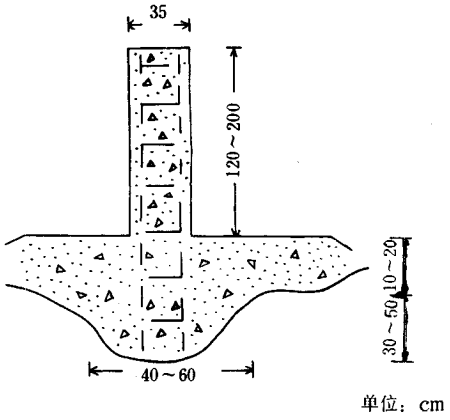


图 B2 岩层标墩

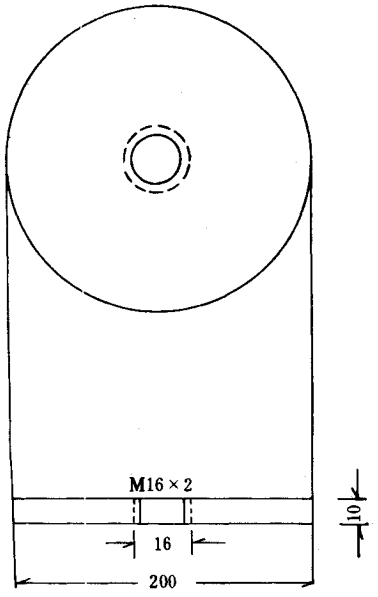


图 B3 对中盘

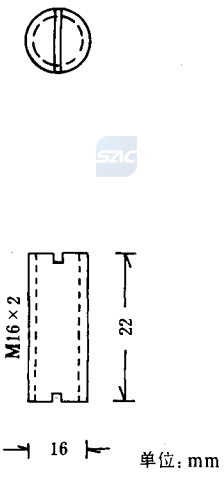


图 B4 对中螺丝

说明：按测量精度要求选择强制对中装置，将底盘固结在标墩顶面。简易型对中盘为中心有螺孔的圆形金属板，水平地固定在标墩上，不水平度应小于 0.02。使用时，将配套的对中螺丝旋入对中盘的螺孔中，然后握住仪器上盘旋转基座，使仪器连接螺孔与对中螺丝紧密连结。

附 录 C
平面点照准标志
（补充件）

C1 旋入式杆标照准标志

塔形杆式标如图 C1，拧在对中装置中心螺旋上。

锥形杆式标如图C2，底部有螺纹，直接拧在底座上。

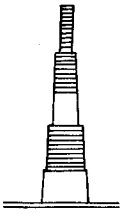


图 C1

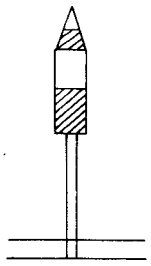


图 C2

C2 重力平衡球式照准标志(如图C3)

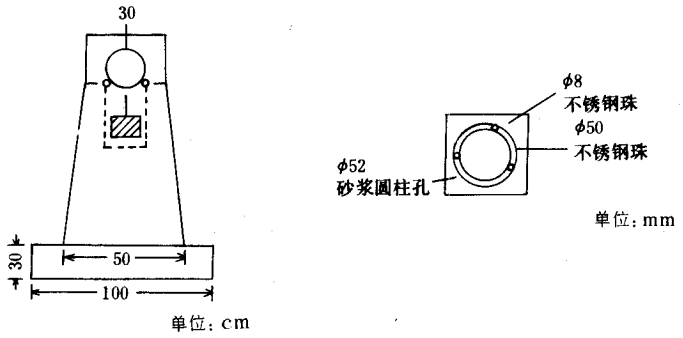


图 C3

说明：使用时，拧松简易中心直插式对中装置托板螺旋，卸下托板，安上标志，即可使用。观测墩中心预留 φ52 mm 柱状孔，孔柱内壁在同高处镶嵌 φ8 mm 的不锈钢珠三个，要均匀分布且外露半球。重锤重量要大于照准标志的不锈钢球的重量，重锤吊垫与照准标志线须在同一直线上，且通过球心。不锈钢球、珠表面要光洁，要涂防腐油，保持转动灵活。

C3 直插式觇牌标志(如图C4、图C5、图C6)

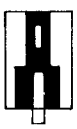


图 C4 条形图案



图 C5 单线图案



图 C6 三角形图案

C4 埋人式照准标志

a. 顶部墙面标志，如图C7，用于一般建筑，以直径约 12 mm 的钢筋做成弯勾尖形标志，埋入墙体内。用于高级建筑，可采用壁灯式标志(有机玻璃或铝合金等材料制成)，在外粉刷时埋入墙体内。如图C8

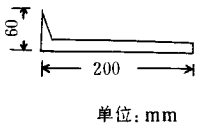


图 C7

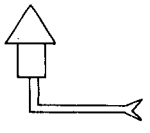


图 C8

b. 顶部上面标志，如图 C9、图 C10，用钢筋焊接成三角形架式嵌入屋顶或用混凝土墩将钢筋标志浇灌在屋顶上。

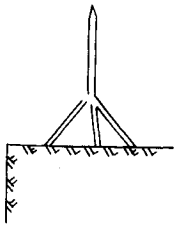


图 C9

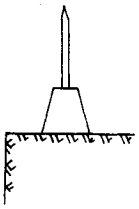


图 C10

附 录 D
高程基准点标志
（补充件）

D1 双金属丝标志（如图 D1）

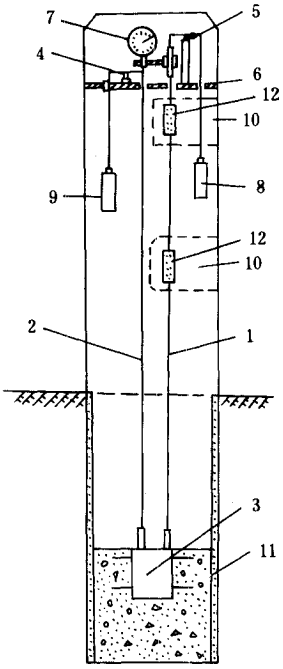


图 D1

说明：基本钢丝 1 为因瓦丝，辅助钢丝 2 为普通不锈钢丝，二者连接在同一锚块 3 上，锚块用混凝土浇筑在保护管 11 的底部，两金属丝的上部通过杠杆 4 和 5 分别被重锤 8 和 9 拉紧，杠杆与固定在外罩上的平台 6 相连，利用杠杆千分表可以确定因温度变化而引起两钢丝伸长的差值，根据这一差值可对基本钢丝的高程点进行温度改正。为了便于在不同的高程面上进行观测，在保护管相应仪器视线高的高度上设置了观测窗 10，在窗内的因瓦丝上固定有微形水准尺 12，水准尺的零点即为高程点。有时，为了测定不同深度处的相对垂直位移（如基础的不同高程处相对于水准点的位移），可以设置成多弦线水准点，将各弦线的锚块埋在相应的高程处。

D2 双金属管标志(如图 D2)

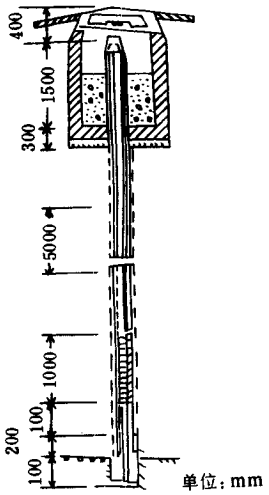


图 D2

说明:适合复盖层较厚的平坦地区,采用钻孔穿过土层和风化岩石,达到压缩变化小的土层或基岩上。标志由膨胀系数不同的两根金属管(例如钢和铝)组成。顶部装有读数设备,可以得出因温度变化引起两管长度变化差数 Δ,根据 Δ 值可计算金属管长度变化,标志埋设深度根据需要确定。

D3 钢管标志(如图 D3)

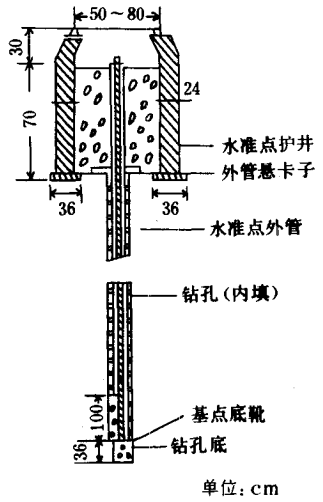
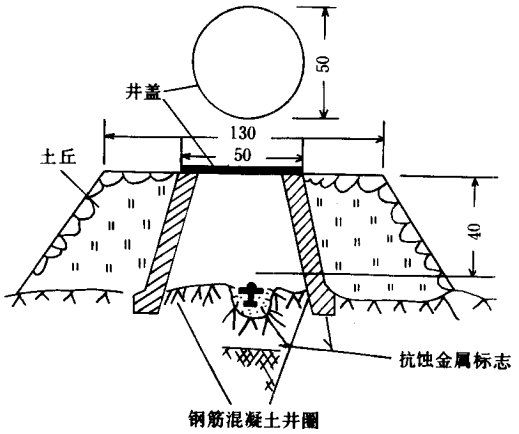


图 D3

说明:适合复盖层较厚的平坦地区,采用钻孔穿过土层,达到砂卵石层或压缩变形小的硬土层。外管为 φ50～100 mm,内管为 φ24～40 mm 的钢管,钻孔壁与外管应保持 10～15 mm 间距。基点底靴为一端封口的钢管,开口向上,送到钻孔底下后锤击靴底,打入钻孔底下 20～30 cm 为止,内管与底靴用混凝土浇捣一体,保证水准点稳定。如有冻土层,窖井底须埋在冻土线下 20 cm 处。

附 录 E
高程控制点标志
(补充件)

E1 岩层标志(如图 E1)

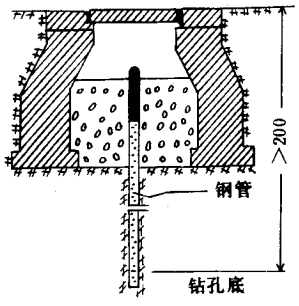


单位：cm

图 E1

说明：适合复盖层很浅的岩石露头地区。埋设抗蚀金属标志时，须清洗岩石基槽，用水、水泥、砂、石子的重量比为0.6∶1∶2∶4的混凝土浇捣，使标志与基槽合成整体。混凝土的养护时间不得少于 24 h。

E2 浅埋式钢管标志(如图 E2)



单位：cm

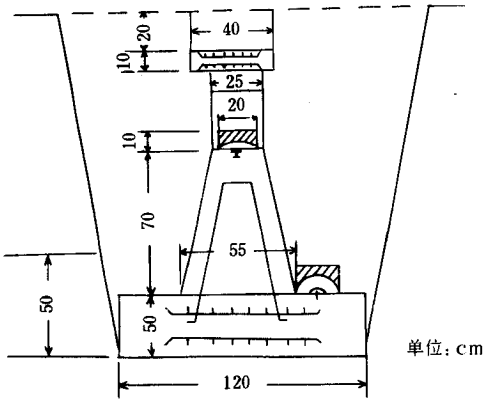
图 E2

说明：适合复盖层较厚的平坦地区。用钻孔穿过表土层，把金属管送到预定的土层中。钻孔底必须夯实，金属管插入孔底下 30 cm。水准标头应按要求专门设计加工，用螺杆与金属管固定位置。金属管外壁用沥青涂两遍，管内用 1∶2 水泥砂浆灌满。

E3 混凝土水准标石

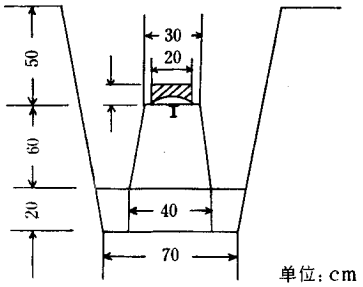
a. 混凝土基本水准标石，如图 E3。

b. 混凝土普通标石，如图 E4。



单位：cm

图 E3

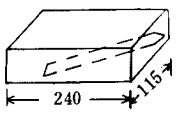


单位：cm

图 E4

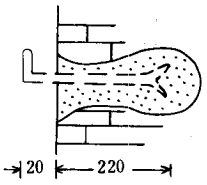
附 录 F
高程照准点标志
（补充件）

F1 墙上标志（如图 F1、图 F2、图 F3）



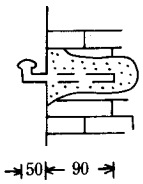
单位：mm

图 F1



单位：mm

图 F2



单位：mm

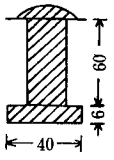
图 F3

说明：图 F1 为砖块式，由混凝土予制成和砖块大小相同的长方块，当中嵌以棱角向上的角钢，外露 50 mm。

图 F2 为燕尾式：用直径 20 mm 的元钢，一端弯成 90 度，一端制成燕尾形，以 1∶2 水泥砂浆埋入墙体内。

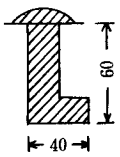
图 F3 为铆钉头式：用角钢一端焊铆钉头，另一端用砂浆埋入墙体内。

F2 基础上标志（如图 F4，图 F5，图 F6，图 F7）



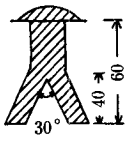
单位：mm

图 F4



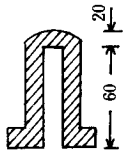
单位：mm

图 F5



单位：mm

图 F6



单位：mm

图 F7

说明：图 F4 为垫板式，用长约 60 mm，直径 20 mm 的铆钉，尾部焊上 40×40×5 mm 钢板埋入基础上。

图 F5 为弯钩式，用长约 80×100 mm、直径 20 mm 的铆钉，一端弯成直角。

图 F6 为燕尾式，用长约 80×100 mm、直径 20 mm 的铆钉，将尾部劈成燕尾式。

图 F7 为 U 字型，用长约 200 mm、直径 20 mm 的钢筋，弯成 U 字型，埋在基础上。

F3 设备上标志（如图 F8）

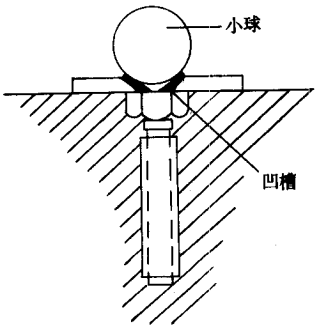


图 F8

说明：小球与凹槽应进行严格检定，保证其配合公差约在几十米之内，凹槽与设备固定，小球的顶点高程可代表设备的高程。

附 录 G
深埋式平高点标志
（补充件）

G1 深埋式平高点标志（如图 G1）

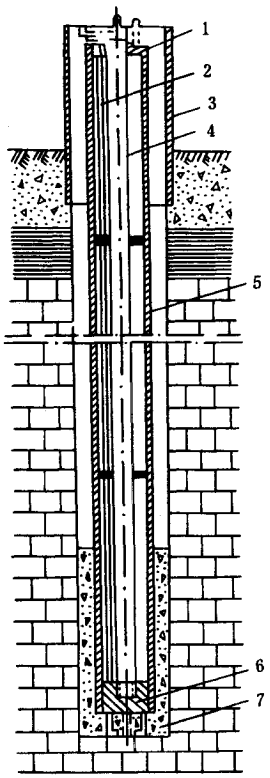


图 G1

说明：图 G1 为一种深埋式平高点标志，它是由两根同心安置的金属圆管组成。内管 4 是硬铝管，外管 5 是钢管，这个钢管是自由站稳的支架。借助于象皮横隔将铝管稳定地站立在钢管的中央处。带有三个地脚螺丝 7 的普通金属底座 6 固定在圆管底端。借助这些地脚螺丝，可将平高点的长度作某些伸缩。在钢管的上端拧上带有照准标志的护盖 1，标点内附有为测量温度用的穿孔圆管 2。

附 录 H
精密准直测量的觇牌制作、仪器检验和偏离值计算
（补充件）

H1 衍射觇牌和光接收器的设计、制作

H1.1 单缝隙觇牌标志隙缝宽度，双缝隙标志隙缝宽度、隙缝间距、及干涉图总条带数相互关系的计算公式：

$$a_1 \leqslant \frac{\lambda S_1}{4(a_2+b)} \qquad \text{(H1)}$$

$$K=\frac{2(a_2+b)}{a_2} \qquad \cdots\cdots(H2)$$

式中：a_1——单缝隙标志隙缝宽度，mm；

a_2——双缝隙标志隙缝宽度，mm；

b——双缝隙标志隙缝间距，mm；

K——干涉图总条带数；

λ——光的波长，可取 0.55 μm；

S_1——单缝隙标志至双缝隙标志的距离，mm。

当选定 K 和 a_2 时即可计算得 a_1、b，一般 K 值应取奇数，参见表 H1。

表 H1

K	$b=(K/2-1)a$	
	a=0.5 mm	a=1.0 mm
9	1.75	3.5
11	2.25	4.5
13	2.75	5.5
15	3.25	6.5
17	3.75	7.5
19	4.25	8.5
21	4.75	9.5
23	5.25	10.5
25	5.75	11.5
27	6.25	12.5
29	6.75	13.5
31	7.25	14.5
33	7.75	15.5
35	8.25	16.5

H1.2 光接收器的十字丝双丝的宽度和干涉条带的宽度关系计算公式：

$$l_1=\lambda S_2/(a_2+b) \qquad \cdots\cdots(H3)$$

$$l_1/l=5/4 \qquad \cdots\cdots(H4)$$

式中：l_1——干涉条带的宽度，mm；

S_2——双缝隙标志和光接收器间的距离，mm；

l——光接收器双丝的宽度，mm。

在计算中可取 $S_2=S_1$（基准线中点精度最弱），按基准线不同的长度和选取的 a_2、b 用公式计算。

H2 精密准直测量仪器的检验

H2.1 活动觇牌法仪器与觇牌的检验与调整

H2.1.1 仪器的视轴与纵旋转轴应位在通过强制对中中心的同一垂直平面内。

检验调整：

在两个观测墩上分别安置仪器与固定觇牌，在中间位置上取一点安置活动觇牌，仪器定向后测其偏离值，互换仪器与固定觇牌位置，重新测定中间偏离值，如果偏离值在准直线两侧，则没有满足上述条件，取观测值中数。用仪器的十字丝改正螺旋，调正十字丝中心与中数位置重合，重复上述操作进行检验，必要时再作调正，直至满足条件。

H2.1.2 觇牌的照准目标的几何对称轴应垂直，且与觇牌的旋转轴相重合

检验与调正：

把觇牌插入强制对中轴套内，由水准器置成垂直位置，用 J_1 型经纬仪安置在 3 米左右的距离上，用十字丝交点照准觇牌的照准目标的下边缘，慢慢提高经纬仪的望远镜，注视十字丝交点与边缘的相对位置，在偏离的情况下，用校正螺旋校正偏离值。照准目标的几何轴与觇牌旋转轴相重合的检验，可在照准目标的两个位置上分别读取 4 组读数，读数之间照准目标旋转轴旋转 180°。四组读数平均值之差即是照准目标对称轴偏心差的两倍，此时用相应的测微螺旋调正照准目标的几何轴。

H2.2 衍射法

单缝隙觇牌与双缝隙觇牌的缝隙对称轴必须垂直，即平行于标准轴心的轴。

检验与调正：利用 J_1 型经纬仪两个度盘位置重复检验校正，直至觇牌的纵向对称轴完全垂直，检验与校正的方法同 H2.1.2。

H2.3 垂直光学投影仪的检验与调正

H2.3.1 ОЧП 型，PZL 型仪器的照准筒的照准轴与筒的旋转轴必须相重合，视线的垂直线必须垂直。

检验与调正：

将仪器置于被观测的标志之上(下)，用微动螺旋使照准筒十字丝的水平平分丝对准标志的一条分划线，由指示器读数，镜筒倒转 180°，重新照准标志的同一条分划线，指示器读数，如果两次读数相差较大，则说明照准筒的照准轴与筒的旋转轴不重合，取两次读数中数，并用微动螺旋安置于指示器上用改正螺丝移动照准丝网，使水平平分线与被测标志的分划线重合，改正后须重复检验直至照准轴与旋转轴重合。然后将照准筒相对于初始位置旋转 90°继续上述操作，如果此时标志中心远离垂直丝网，说明视线的垂直线没有精确垂直，用改正螺旋调正五棱镜使其标志中心与垂直丝网重合，镜筒倒转 180°重复检验。

H2.3.2 ZL、NL 型光学仪主要检验视线的垂直性，水准器的检验。

a. 视线的垂直性

在坚硬的地面上整置三脚架与仪器，置中仪器的水准器，在一张米厘格带上准备一个坐标网格，并置于离仪器 15 m 左右距离上对准仪器，由仪器读取或标记十字丝中心位置，将仪器旋转 180°读取或标记十字丝中心位置。如果读数是相同的或标记重合，视线精确垂直，如果不是，则用校正螺旋使十字丝中心位于读数中数或两个标记的中点位置上，调正后用两个 90°位置重复检验。

b. 水准器的检验与调正可用通常的检验与调正方法。

H3 精密准直测量观测偏离值的计算与精度评定

H3.1 活动觇牌法观测偏离值的计算

H3.1.1 整条基准线观测方式

$$\delta_{i\text{往}} = M_0 - \delta_i \qquad \cdots\cdots (H5)$$

$$\delta_{i返} = \delta_i' - M_0 \qquad \cdots\cdots(H6)$$

式中：δ_i、δ_i'——分别为往返观测读数平均值

M_0——活动觇牌的零位值。

往返观测偏离值平均值

$$\delta_{i平均} = (\delta_{i往} \cdot S_{往} + \delta_{i返} \cdot S_{返})/(S_{往} + S_{返}) \qquad \cdots\cdots(H7)$$

H3.1.2 分段观测方式

当基准线分成两段时，分段点为 A(见图 H1)。

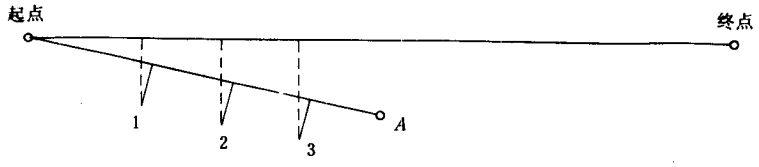


图 H1

$$\delta_i = \Delta_i + \Delta_A S_i/S_A \qquad \cdots\cdots(H8)$$

$$\Delta_A = \delta_A \qquad \cdots\cdots(H9)$$

式中：S_i，S_A——待测点 i，A 至起点或终点(A～终点段)的相应距离。

当基准线分成四段时，基准线二分之一部分分段点为 A，四分之一部分分段点为 B，C

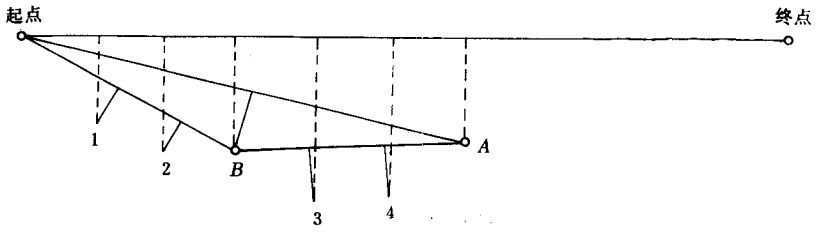


图 H2

$$(基准线起点 \sim B 分段)\delta_i = \Delta_i + \Delta_A S_i/S_A + \Delta_B S_i/S_B \qquad \cdots\cdots(H10)$$

$$(B \sim A 分段)\delta_i = \Delta_i + \Delta_A S_i/S_A + (S_A - S_i)\Delta_B/(S_A - S_B) \qquad \cdots\cdots(H11)$$

式中：Δ_i，Δ_A，Δ_B ——待测点 i，A，B 到相应方向线的偏离值；

S_i，S_A，S_B ——待测点 i，A，B 到基准线起点之间的距离 A～C 段，C～基准线终点段之间待测点的偏离值把上述公式中 Δ_B 和 S_B 换成 Δ_C 和 S_C 即可。但此时 S_i，S_A 和 S_C 应为待测点至终点间的相应距离。

H3.1.3 逐次推进观测方式(见图 H3)

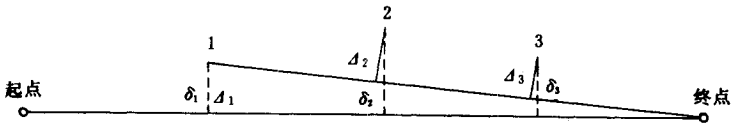


图 H3

$$往:\delta_i = \Delta_i + S_i\Delta_{i-1}/S_{i-1} + S_i\Delta_{i-2}/S_{i-2} + \cdots \quad \cdots\cdots(H12)$$

$$返:\delta_i = \Delta_i + S_i\Delta_{i+1}/S_{i+1} + S_i\Delta_{i+2}/S_{i+2} + \cdots \quad \cdots\cdots(H13)$$

式中：δ_i——待测点至基准线的偏离值；

Δ_i——待测点至相应方向线的偏离值；

S_i——待测点至基准线终点(往测)或基准线起点(返测)的距离。

分段观测方式和逐次推进观测方式在利用公式计算待测点偏离值时-要考虑活动觇牌零位值，二应注意偏离值的正负号。正负号的决定以基准线推进或方向线的左侧取正号，右侧取负号。

H3.2 波带板准直测量观测偏离值的计算(见图 H4)

基准线 AB，待测点 i

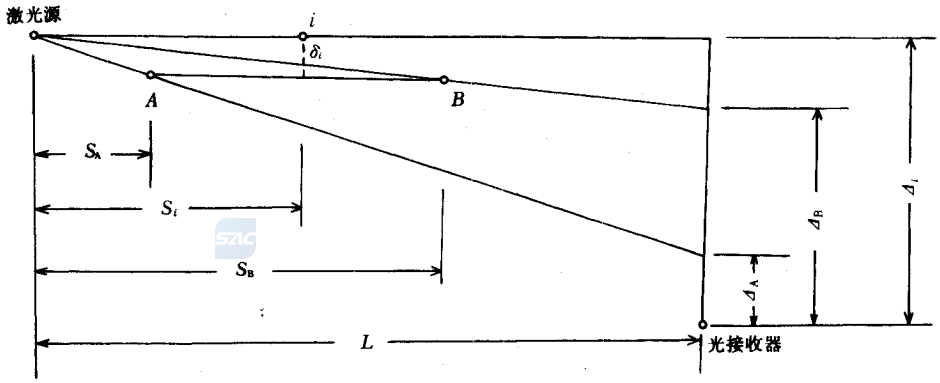


图 H4

$$\delta_i = \left(\Delta_i - \frac{Q_i - Q_B}{Q_A - Q_B}\Delta_A + \frac{Q_i + Q_A}{Q_A - Q_B}\Delta_B\right) S_i/L \quad \cdots\cdots(H14)$$

$$Q_A = \frac{(L - S_A)}{S_A} \quad \cdots\cdots(H15)$$

$$Q_B = \frac{(L - S_B)}{S_B} \quad \cdots\cdots(H16)$$

$$Q_i = \frac{(L - S_i)}{S_i} \quad \cdots\cdots(H17)$$

δ_i 为负值时，则待测点 i 与图示位置相反，即在基准线的另一侧。

H3.3 精度评定

整条基线观测方式和分段观测方向及波带板准直方法的偏离值精度计算，可根据往返测的偏离值之差按通常的双观测计算公式，计算其观测中误差。

逐次推进基准线观测方式，用往、返观测得出的各相邻待测点之差进行计算，按下述步骤计算：

a. 利用公式

$$d' = \delta_{i+1}' - \delta_i' \qquad \cdots\cdots(H18)$$

$$d'' = \delta''_{i+1} - \delta''_i \qquad \cdots\cdots(H19)$$

式中：δ'、δ''——由往返观测算得的待测点的偏离值。

b. 求出差值

$$d = d' - d'' \qquad \cdots\cdots(H20)$$

c. 计算权

$$P' = 1/M_6'^2 \qquad \cdots\cdots(H21)$$

$$P'' = 1/M_6''^2 \qquad \cdots\cdots(H22)$$

式中：M_6'，M_6''——可利用逐次推进观测方式计算偏离值公式经微分得其中 m_Δ 值可按下列公式计算。

$$m_\Delta = m_{照}\sqrt{2}S_i/\rho \qquad \cdots\cdots(H23)$$

式中：S_i——视线长度；

$m_{照}$——仪器照准中误差可取 0.″4。

d. 按下式公式计算差值的权数

$$P_{di} = P'P''/(P' + P'') \qquad \cdots\cdots(H24)$$

e. 差值 d_i 的单位权中误差 μ 的计算公式

$$\mu = \sqrt{[P_d dd]/n} \qquad \cdots\cdots(H25)$$

式中：n——d_i 的个数。

附 录 I
精密工程测量计算的基本参数和公式
（补充件）

I1 三种椭球基本参数

I1.1 WGS-84 大地坐标系的地球椭球基本参数及主要几何和物理常数

I1.1.1 地球椭球基本参数

长半径 a=637 813 7 m；

地球引力常数(含大气层)GM=398 600 5×10^8 $m^3 \cdot s^{-2}$；

正常化二阶带谐系数 $C_{20}=-484.166\ 85\times10^{-6}$；

地球自转角速度 $\omega=729\ 211\ 5\times10^{-11}\ \mathrm{rads}^{-1}$。

I1.1.2 主要几何和物理常数

短半径 $b=635\ 675\ 2.314\ 2$ m；

扁率 $\alpha=1/298.257\ 223\ 563$；

第一偏心率平方 $e^2=0.006\ 694\ 379\ 990\ 13$；

第二偏心率平方 $e'^2=0.006\ 739\ 496\ 742\ 227$；

椭球正常重力位 $U_0=626\ 368\ 60.849\ 7\ \mathrm{m^2\cdot s^{-2}}$；

赤道正常重力 $\gamma_e=9.780\ 326\ 771\ 4\ \mathrm{m\cdot s^{-2}}$。

I1.2 1980 西安坐标系的参考椭球基本参数及主要几何和物理常数

I1.2.1 参考椭球基本参数

长半径 $a=637\ 814\ 0$ m；

地球引力常数(含大气层)$GM=398\ 600\ 5\times10^{8}\mathrm{m^3\cdot s^{-2}}$；

二阶带谐系数 $J_2=1\ 082.63\times10^{-8}$；

地球自转角速度 $\omega=729\ 211\ 5\times10^{-11}\ \mathrm{rad\cdot s^{-1}}$。

I1.2.2 主要几何和物理常数

短半径 $b=635\ 675\ 5.288\ 2$ m；

扁率 $\alpha=1/298.257$；

第一偏心率平方 $e^2=0.006\ 694\ 384\ 999\ 59$；

第二偏心率平方 $e'^2=0.006\ 739\ 501\ 819\ 47$；

椭球正常重力位 $U_0=626\ 368\ 3\times10\ \mathrm{m^2s^{-2}}$；

赤道正常重力 $\gamma_e=9.780\ 318\ \mathrm{m\cdot s^{-2}}$。

I1.3 1954 北京坐标系参考椭球的基本几何参数

长半径 $a=637\ 824\ 5$ m；

短半径 $b=635\ 686\ 3.018\ 8$ m；

扁率 $\alpha=1/298.3$；

第一偏心率平方 $e^2=0.006\ 693\ 421\ 622\ 966$；

第二偏心率平方 $e'^2=0.006\ 738\ 525\ 414\ 683$。

I2 参考椭球的几种曲率半径

地面点 P_e 沿法线投影到参考椭球面的 P' 点。椭球面上任意点的主曲率半径是该点的子午圈曲率半径 M 及卯酉圈曲率半径 N。

$$M=a(1-e^2)/(1-e^2\sin^2B)^{3/2} \qquad \cdots\cdots(\mathrm{I1})$$

$$N=a/(1-e^2\sin^2_B)^{1/2} \qquad \cdots\cdots(\mathrm{I2})$$

任意方向的曲率半径：

$$\begin{aligned}R_A&=N/(1+e'^2\cos^2A\cos^2B)\\&=MN/(N\cos^2A+M\sin^2A)\end{aligned} \qquad \cdots\cdots(\mathrm{I3})$$

式中：A——大地方位角；

B——大地纬度。

平均曲率半径：

$$R = \sqrt{MN} \qquad \cdots\cdots(I4)$$

I3 高斯投影正、反算

由一点大地坐标 B、L 求高斯投影面上平面直角坐标 x、y 为高斯投影正算，计算公式为：

$$\begin{aligned} x =& X + \frac{1}{2}Nt\cos^2 Bl^2 + \frac{1}{24}Nt(5 - t^2 + 9\eta^2 + 4\eta^4)\cos^4 Bl^4 \\ &+ \frac{1}{720}Nt(61 - 58t^2 + t^4 + 270\eta^2 - 330\eta^2t^2)\cos^6 Bl^6 \\ &+ \frac{1}{40320}Nt(1\ 385 - 3\ 111t^2 + 543t^4 - t^6)\cos^8 Bl^8 \qquad \cdots\cdots(I5) \\ y =& N\cos Bl + \frac{1}{6}N(1 - t^2 + \eta^2)\cos^3 Bl^3 \\ &+ \frac{1}{120}N(5 - 18t^2 + t^4 + 14\eta^2 - 58\eta^2t^2)\cos^5 Bl^5 \\ &+ \frac{1}{5040}N(61 - 479t^2 + 179t^4 - t^6)\cos^7 Bl^7 \end{aligned}$$

式中：X——赤道至纬度 B 的子午线弧长；

$l = L - L_0$，rad；

L_0——投影分带轴子午线的大地经度。

由一点的高斯平面直角坐标 x、y 求相应的大地坐标 B、L，为高斯投影反算，计算公式为：

$$\begin{aligned} B =& B_f + \frac{1}{2N_f^2}t_f(-1 - \eta_f^2)y^2 + \frac{1}{24N_f^4}t_f(5 + 3t_f^2 + 6\eta_f^2 \\ &- 6t_f^2\eta_f^2 - 3\eta_f^4 - 9\eta_f^4t_f^2)y^4 + \frac{1}{720N_f^6}t_f(-61 - 90t_f^2 + 45t_f^4 \\ &- 107\eta_f^2 + 162\eta_f^2t_f^2 + 45\eta_f^2t_f^4)y^6 \\ &+ \frac{1}{40320N_f^8}t_f(1\ 385 + 3\ 633t_f^2 + 4\ 095t_f^4 + 1\ 575t_f^6)y^6 \qquad \cdots\cdots(I6) \\ l =& \frac{1}{N_f\cos B_f}y + \frac{1}{6N_f^3\cos B_f}(-1 - 2t_f^2 - \eta_f^2)y^3 \\ &+ \frac{1}{120N_f^5\cos B_f}(5 + 28t_f^2 + 24t_f^4 + 6\eta_f^2 + 8\eta_f^2t_f^2)y^5 \\ &+ \frac{1}{5040N_f^7\cos B_f}(-61 - 622t_f^2 - 1\ 320t_f^4 - 720t_f^6)y^7 \end{aligned}$$

式中：B_f—底点纬度，即从赤道至某点的子午线弧长为 x 时，此点的纬度。以上两式中：

$$\begin{aligned} \eta &= e'\cos B \\ W &= \sqrt{1 - e^2\sin^2 B} \qquad \cdots\cdots(I7) \\ V &= \sqrt{1 + e'^2\cos^2 B} = \sqrt{1 + \eta^2} \end{aligned}$$

$$t = \mathrm{tg}B$$

I4 大地高计算公式

我国采用正常高系统。1986年前按“1956年黄海平均海水面”为基准起算，1986年起按“1985国家高程基准”起算。

大地高 H 与正常高 H_γ 之间的关系为

$$H = H_\gamma + \zeta \qquad \cdots\cdots(\mathrm{I8})$$

式中：ζ 为高程异常。

I5 正常重力计算公式

我国采用的正常重力公式为1901～1909年赫尔默特公式：

$$\gamma_0 = 978.030(1 + 0.005\ 302\ 4\sin^2\phi - 0.000\ 007\sin^2 2\phi) \qquad \cdots\cdots(\mathrm{I9})$$

I6 高斯平面上坐标推算公式

已知两底点 A、B 的平面坐标 x_1、y_1；x_2、y_2，两个底角 A、B，求第三点 C 的坐标 x_3，y_3 见图I1，图中角度的顺序是按反时针方向编排的。

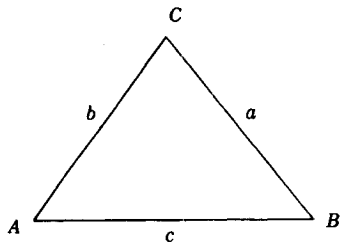


图 I1

$$\begin{aligned} x_3 &= (x_1\mathrm{ctg}B + x_2\mathrm{ctg}A - y_1 + y_2)/(\mathrm{ctg}A + \mathrm{ctg}B) \\ y_3 &= (y_1\mathrm{ctg}B + y_2\mathrm{ctg}A + x_1 - x_2)/(\mathrm{ctg}A + \mathrm{ctg}B) \end{aligned} \qquad \cdots\cdots(\mathrm{I10})$$

I7 测边网坐标计算

在上图已知 a、b、c 三条边边长，求 C 点的坐标 x_3、y_3

$$\begin{aligned} T_A &= (a^2 - b^2 - c^2)/(2c^2) \\ T_B &= (-a^2 + b^2 + c^2)/(2c^2) \\ T &= \sqrt{a^2/c^2 - T_A^2} = \sqrt{b^2/c^2 - T_B^2} \\ x_3 &= T_A x_1 + T_B x_2 + T(y_2 - y_1) \\ y_3 &= T_A y_1 + T_B y_2 + T(x_1 - x_2) \end{aligned} \qquad \cdots\cdots(\mathrm{I11})$$

利用上述两组公式不难求出三角网的坐标。推算三角点的坐标是观测值归算、平差计算必须的数据。

I8 三角测量成果归算

三角测量是在地面上以垂线为根据的方向或角度观测。将三角测量水平方向值归化到椭球面上的三项改正：

a. 垂线偏差改正 δu

$$\delta u'' = -(\xi_K \sin A_{KQ} - \eta_K \cos A_{KQ}) \operatorname{ctg} Z_{KQ} \quad \cdots\cdots (I12)$$

式中：ξ_K, η_K——测站 K 垂线偏差的子午分量与卯酉分量，(″)；

A_{KQ}——为测站 K 到照准点 Q 的大地方位角；

Z_{KQ}——为测站 K 测得点 Q 的天顶距。

b. 照准点高程改正 δH

$$\delta H'' = H_Q(\rho''/M_Q) \times e^2/2 \times \sin 2A_{KQ} \cos^2 B_Q \quad \cdots\cdots (I13)$$

式中：B_Q——为照准点 Q 处的纬度；

H_Q——为 Q 点的大地高加上觇标高；

M_Q——为 Q 点的子午圈曲率半径；

A_{KQ}——为从测站 K 到点 Q 的大地方位角；

e——为子午椭圆第一偏心率。

c. 截面差改正(又称法截弧方向化为大地线方向的改正)δ_g

$$\delta g'' = -e^2 S^2 \rho''/(12N_K^2) \sin 2A_{KQ} \cos^2 B_K \quad \cdots\cdots (I14)$$

式中：N_K——为测站点 K 处卯酉圈曲率半径；

S——为测站点 K 到照准点 Q 的大地线长；

其他符号意义同上。

I9 测距边归算

目前测距边一般为 20～30 km 之内，用下面的近似方法作归算，可以达到 0.1 mm 的计算精度。

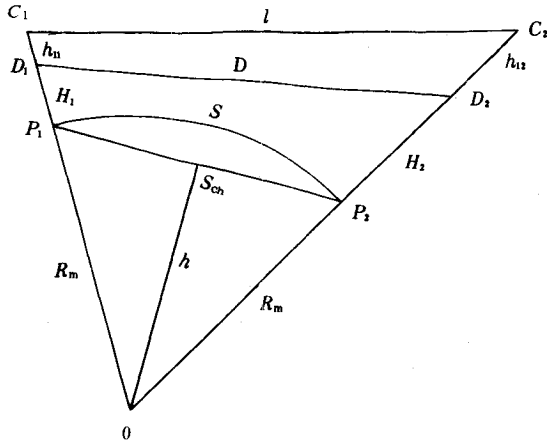


图 I2　测距边归算

l—测得的仪器中心到反光镜之间的距离；S—大地线(精密近似)长；
S_{ch}—相应的弦长；D—标志间的斜距

$$D^2 = dH^2 + (R + H_1)(R + H_2)[l^2 - (dh + dH)^2]/[(R + H_1 + h_{11})(R + H_2 + h_{12})] \quad \cdots\cdots (I15)$$

式中：$dh = h_{12} - h_{11}$

$dH = H_2 - H_1$

h_{11}, h_{12}——分别为仪器高或镜高；

H_1, H_2——三角点的大地高；

R——由两点的平均纬度与大地方位角求得的法截线曲率半径。

$$S = 2R\text{arctg}(S_{ch}/(2h)) \quad \cdots\cdots (I16)$$

而

$$S_{ch}^2 = (D^2 - dH^2)R^2/[(R + H_1)(R + H_2)]$$

$$h^2 = R^2 - S_{ch}^2/4 \quad \cdots\cdots (I17)$$

计算得到的 D 可用于三维网的平差计算。

I10　归算到高斯平面的改正

当边长或方向观测值在高斯平面上平差时，需将归算到椭球面上的值进一步归算到高斯平面上。

a.　方向改化

大地线在高斯平面上的投影是曲率微小的曲线。大地线投影曲线与其两端投影点所连直线的微小方向变化 δ 为方向改化。

设在高斯平面上从点 1 到 2 的平面方位角为 T_{12}，而两点之间大地线的投影在点 1 处的方位角为 sT_{12}，则：

$$\delta_{12} = sT_{12} - T_{12} = \frac{1}{6R_1^2}(3y_1 + \Delta y)\Delta x + \frac{\eta_1^2 t_1}{6R_1^3}\Delta y(6y_1^2 + 4y_1\Delta y + \Delta y^2) -$$

$$\frac{\eta_1^2 t_1}{3R_1^3}\Delta x^2(2y_1 + \Delta y) - \frac{\Delta x}{360R_1^4}(60y_1^2 + 90y_1^2\Delta y + 45y_1\Delta y^2 - 15y_1\Delta x^2$$

$$-7\Delta y\Delta x^2+7\Delta y^3) \qquad \cdots\cdots(I18)$$

式中：$\Delta y=y_2-y_1$

$\Delta x=x_2-x_1$

R_1——为点 1 处的平均曲率半径；

η_1,t_1——为用点 1 的纬度算得，见(I7)式；

$x_1,y_1;x_2,y_2$——为两点的高斯平面坐标。

b. 距离改化

大地线两端点在高斯平面上投影点连线的长为其平面边长。将大地线长变换为平面边长或作相反的变换称为距离改化。若平面边长为 d，大地线长为 S，则：

$$\begin{aligned} d/s=&1+\frac{1}{6R_1^2}(3y_1^2+3y_1\Delta y+\Delta y^2)-\frac{\eta_1^2t_1}{6R_1^3}\Delta x(6y_1^2+8y_1\Delta y+3\Delta y^2)\\ &+\frac{1}{72R_1^4}(3y_1^4+6y_1^3\Delta y-3y_1\Delta y^3-\Delta y^4)+\frac{\Delta x^2}{24R_1^4}(y_1^2+y_1\Delta y)\\ &+\frac{\Delta x^2\Delta y^2}{90R_1^4} \qquad \cdots\cdots(I19) \end{aligned}$$

式中符号的意义与方向改化式中的意义相同。

c. 平面子午线收敛角计算

将椭球面上的大地方位角化算为高斯平面方位角时，除了要加方向改化外，还需要平面子午线收敛角 γ，即

$$T_{12}=A_{12}-\gamma_1-\delta_{12} \qquad \cdots\cdots(I20)$$

式中：T_{12}——为点 1 到点 2 的平面方位角；

A_{12}——为点 1 到点 2 的大地方位角；

δ_{12}——为点 1 到点 2 的方向改化；

γ_1——为点 1 处的子午线收敛角。

γ_1 的计算式为：

$$\begin{aligned} \gamma_1=&\sin Bl+\frac{1}{3}(1+3\eta^4+2\eta^4)\sin B\cos^2Bl^3+\frac{1}{15}(2-t^2+12\eta^2-15\eta^2t^3)\\ &\sin B\cos^4Bl^5+\frac{1}{315}(17-26t^2+2t^4)\sin B\cos^6Bl^7 \qquad \cdots\cdots(I21) \end{aligned}$$

式中：$l=L-L_0$，L 为该点的经度，L_0 为轴子午线经度；

B——为该点的纬度；

t,η 由 B 计算得，见(I7)式。

附 录 J
精密距离测量设备和仪器型号
（参考件）

J1 精密距离测量仪器设备略图

J1.1 嵌合尺，是一种用于工艺设备精密定位安装的塞尺，见图 J1。

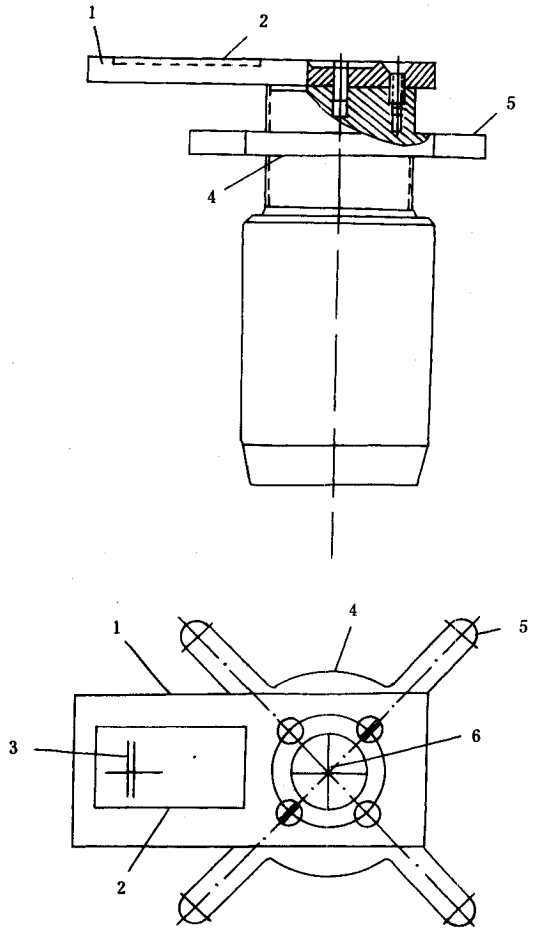


图 J1

图中：水平板 1 上装有玻璃片 2，玻璃片上刻一组双丝 3，为使水平板放到所需的高程设有四个搬手 5 的螺母 4，双丝 3 与嵌合尺轴衬中线 6 间距离要严格与设计距离相等。

J1.2 杆尺：精密丈量短小距离。

a. 两端点设有分划尺，见图 J2。

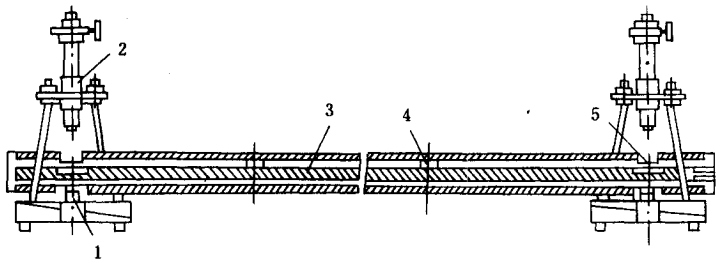


图 J2

3—杆尺；4—保护筒；5—杆尺的分划尺；2—读数显微镜

b. 一端点设有分划尺，见图 J3。

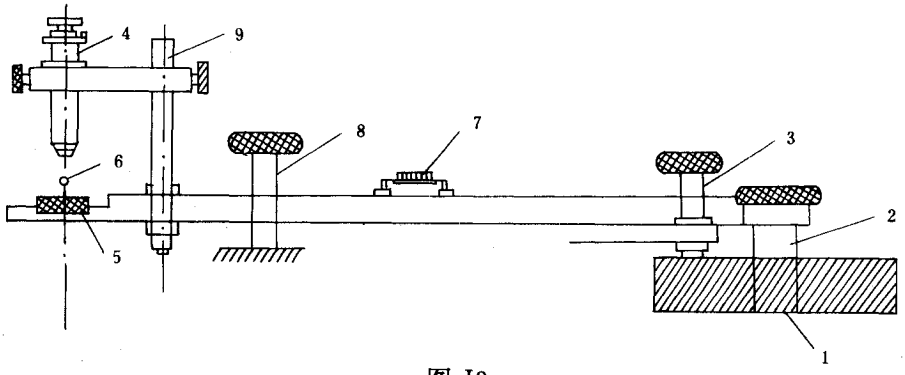


图 J3

1—轴套式标志；2—杆尺插轴；3、8—整平用的脚螺旋；4—读数显微镜；
5—分划尺；6—引张纲弦或照准标志；7—水准管；9—专用托架

J1.3 自动测距仪(distinver)，见图 J4。

精密丈量 0.4～50 m 的边长距离，自动测距仪由三部分组成：带有插入式配件的 1.65 mm 因瓦线尺、固定的基准点和测量仪器，后两种部件都有一个园筒用于 30 mm 直径的插座之内精密对中，仪器是一个固定在滑座上的精密平衡器经过附有 1.5 kg 的配重和一个杠杆系统，对因瓦线尺施加一个固定的水平拉力，滑座寻找仪器的平衡中心，由一个可逆转的马达通过测微螺丝使滑座自动地移动直到达到平衡中心为止，一个和该螺丝结合的机械计数器显示滑座的纵向位置(自动显示距离读数)。

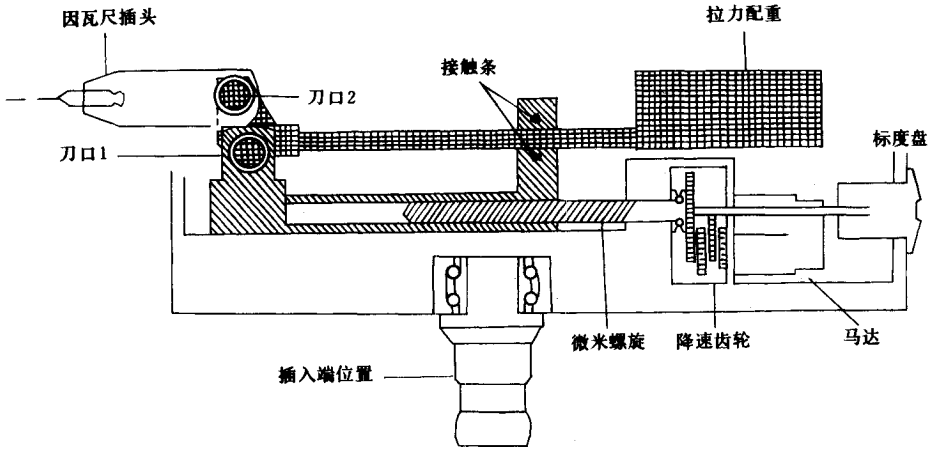


图 J4

J1.4 24 m 因瓦线尺精密距离测量时读数显微镜装置，见图 J5。

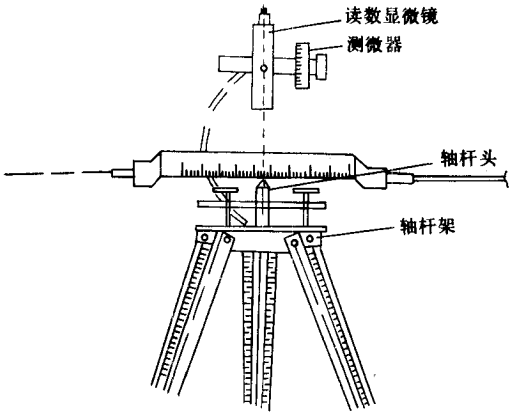


图 J5

J2 几种精密电磁波测距仪(见表 J1)

表 J1

仪器型号	测程		光源	精度,mm	备注
	单棱镜	三棱镜			
Mekometer ME3000	1 500	2 500	氙灯	(0.2+1ppm·D)	
Mekometer ME5000	5 000	8 000	氦氖激光器	(0.2+0.2 ppm·D)	
英 GEONENSOR GR204	10～10 000		氙灯	(0.2+0.4ppm·D)	
Terrameter LDM2	1 000～20 000		氦氖、氦镉激光器	(0.1+0.1 ppm·D)	双色激光测距仪
Terrameter MA100	1 000		砷化镓二极管	(0.5+2ppm·D)	
Georam Ⅱ	100～50 000		氙氪、氦氖激光器	(0.1+0.1ppm·D)	双色激光测距仪
Grodolite	7 000		氦氖激光器	(1+1ppm·D)	
Wild DI2000	中短程		砷化镉二极器	(1+1ppm·D)	
加 Geomersor 204DME	10～10 000		氙灯	(0.1+0.5ppm·D)	
美 Hewlett packard MKL	1 500		砷化镓二极管	(1.5+1ppm·D)	
原苏 Me几	300～500		砷化镓二极管	2	

附 录 K
FSQ 型静力水准仪安装、调校和使用规则
(参考件)

K1 自动记录型静力水准仪的主体和配件

a. 钵体 2 个;

b. 标定装置 1 套；

c. 传感器 2 套；

d. 精密测微仪 1 台；

e. 电子电位差 1 台；

f. 玻璃管、塑料管若干；

g. 大于 300 V·A 的交流稳压电源；

h. 精度为 0.01℃的多探头自记温度计；5×10^{-5} Pa 的自记气压计。

K2 仪器主体安装步骤

a. 清洁观测墩

检查墩面及预埋的底角螺钉放置垫块。检视仪器，清点配件。

b. 清洗仪器

先用肥皂水清洗盛水槽与玻璃管，然后用清水冲洗，最后用浓度为 75%的酒精清洗、消毒。用溶剂汽油将金属体擦净。所有零部件须待酒精、汽油挥发完毕后再置于观测室中。

c. 接联通管

用乳胶管将玻璃管与两钵体水槽连接起来，要求管头端面接触。

d. 注水

将在观测室内静置一天以上的蒸流水沿一端钵体的内壁缓缓注入，直到钵体内水位高达约 85 mm 处。

e. 排除气泡

将医用注射器针头沿乳胶管内壁插入，正对气泡抽吸，吸完为止。随后在标定棒的水银槽中注入水银并盖上盖板。

f. 注入液体石蜡

当钵体水位调整到 90～95 mm 后，用漏斗注入一层厚约为 4～5 mm 的液体石蜡。

g. 调平上盖板

将管状水准器置于盖板上，调节底座上的三个脚螺旋，置平仪器上盖板。

h. 拧紧簧片紧定螺钉

预先按下浮子约 2 mm，然后拧紧簧片紧定螺钉，使导向支撑弹簧与浮子连为一体。

i. 装发磁体和检测头

分别将发磁体和检测头装入浮子联动轴上端和检测头座上。

j. 调仪器格值

按电灵敏度为 2 mV/μm 计算两端水位变化值所需的标定棒位移量，然后按照 K4 条的要求和方法调整格值。

k. 压紧主体罩

仪器格值调试完毕之后，加罩并放上压脚，拧紧压脚螺母。操作时不可用力过猛，只需手指感到着力即可，并应对称轮换旋紧螺母。

l. 装空气管。

按照连接玻璃管的方法将空气管装好架妥。

K3 电器部分的安装步骤

a. 仔细检查电器部分工作是否正常，然后将前置放大器置于主体附近。测微仪、电子电位差计和时号钟放在记录室，时钟外壳应与大地绝缘。用双芯屏蔽电缆连接前置放大器与测微仪。

b. 焊接所有插头，不得有虚焊，每个焊点要加套管。

c. 对电缆的每根芯线进行检查，先查测微仪，再查前置放大器。检查时应分别在各端点检查，不可时在各端通电检查。

d. 仪器接地电阻要小于 10 Ω，地线应与供电线路分开且保持一定距离。还须设置避雷系统。

K4 仪器电灵敏度调试

a. 粗调

移动标定棒和机械位移检测座上的检测头，使其与发磁体之间的距离发生变化，以达到水位变化 1 μm时，输出电位为(2±0.1) mV。

b. 精调

移动标定棒和微调前置放大器盒上的调整电位器，改变放大频率，使水位变化1 μm时，输出电压为(2±0.02) mV。

K5 格值标定

仪器格值每月标定一次，标定应选在小潮或大潮的波峰、波谷时进行。标定时，要求两端格值必须调整一致，格值计算取四位有效数字。格值相对误差不应大于 1%。若超限时则按电灵敏度精调方法调整。标定后应采用新格值，并加校改值。

K6 观测

a. 每日定时到记录室检查记录情况，在记录纸上标注时间。读记端点温度(读至 0.01℃)。

b. 随时注意记录曲线是否出格，发现后立即拨调零器调回。

c. 每日定时对钟(机械时号钟应准时上发条)，钟差不得超过±1 min。

d. 记录曲线平均日漂量应小于三格。漂移过大应及时解决。

e. 每天上午按整时读取前一天高差曲线值，估读至 0.1 格。若打点离散，则按中点读数，记入观测手簿。

f. 调整曲线位置或碰动仪器后应加校改值。确定校改值时应考虑曲线的正常变化。

g. 停电期间，使用交直流转换装置，在测微仪输出端用数字电压表读取整时高差迅号值，记入手簿中。

h. 自记仪器因故障停测期间，须采用目视静力水准仪观测。

i. 记录图纸每月一卷。须在卷首、卷尾填写仪器类型、编号、图卷号、起止日期、仪器格值。

K7 仪器维护

a. 停电时，须关闭交流稳压电源、记录开关。通电后，先开稳压电源开关，再打开仪器的电源、记录开关。

b. 每周用绸布蘸酒精清洗滑线电阻一次。每周清洗圆柱导轨一次，并加少许润滑油。

c. 多点开关内的变压器油每 2～3 个月更换一次。注入的油量以贮油壶上横线为准。

d. 定期检查蓄电瓶的电压，及时更换电解液。

附 录 L
全球定位系统(GPS)精密工程测量
(参考件)

L1 结合精密工程测量的特点，GPS 定位技术可在三、四级精密工程测量中应用。测定精密工程控制点的平面位置或位置的变化，按照相应精度要求，参照 CH2001 全球定位系统(GPS)测量规范中的有关规

定执行。

L2 GPS 测量采用 WGS-84 大地坐标系。当 GPS 作业要求提供精密工程其他坐标系或 1980 西安大地坐标系时，可依需要使用测区范围内重合点数据，根据不同的数学转换模型求得。重合点应尽量均匀分布于整测区，并不得少于三个。

L3 GPS 网设计视其目的和要求的精度，进行优化设计。地面点间距离可视需要而定，不要求通视，但需注意利用常规方法加密时的扩展。

GPS 网是通过同步图形之间的连接实现的。根据连接方式不同具有不同的图形结构。一般可有三角形、闭合多边形及附合线路组成。几何图形中的边数，对三、四级分别不得超过 6 和 8 条。不允许有支线点。

在可能条件下，尽量与附近已有的精密 GPS 网点联测，应尽量与原有地面控制网点重合。

如果测区内包括三、四级精密工程测量的 GPS 网点，在网的设计时可统一进行考虑。

L4 点位周围竖直角 15℃以上天空应无障碍物，点位周围应无强烈反射无线电波的金属或其它障碍物或大范围水面；点位应远离强功率电台、电视发射台、微波中继站、高压电线、变电所等；在有金属标架的点上进行观测时，应事先拆除标架；天线应尽量直接对中，若偏心观测应精确测定偏心元素；点位应交通方便并便于通讯联系。

L5 用于作业的 GPS 接收机，应选择双频 GPS 接收机，在个别情况下（比如边长较短时）也可用合乎要求的单频接收机。采用载波相位测量。投入作业的接收机数应不少于二台。作业前，应对接收机进行全面检验，并经业务主管部门批准后方可使用。

L6 选择 PDOP 不超过 5 的星组（不得少于 4 颗）进行观测，每条边不得少于 2 个观测时段，每个时段不得短于 2 h；有效星跟踪时间不得少于 1 h；每点重复设站不少于 2 次；卫星高度角大于 15°，每个环中包括异步边数不少于 3 条；每次观测重新量取天线高，对中精度高于 1 mm；每时段量取气象元素不少于 3 次（始、中、末各一次）。

L7 GPS 精密工程测量中，应注意的事项

a. 密切关注卫星星历的精度及变化情况。对广播星历（BE）要慎重使用，尽可能获取和使用精密星历（PE）。

b. 尽量提高测区内固定站坐标精度，目前可以采用在固定站设站进行长期连续跟踪；将网中各点均进行单点定位，根据基线向量观测值求出固定站坐标，取其平均值作为固定站最后坐标；把固定站选在国家大地点上，利用坐标转换求得固定站坐标；利用国家高等级的 GPS 点作为固定站或与国家高等级 GPS 网联测等方法。

c. 应在电子密度稳定的有利条件下进行观测，一般夜间比白天稳定。在测区内用一台双频接收机进行连续地双频观测，借助频率之差的相位观测值方程，求出电子含量，将它用于单层改正模型计算中，对单频机进行电离层改正。

d. 努力克服气象数据代表性误差。在选点时应注意使测站附近小气象环境与整个测区大气象环境相符合；应在与大气象环境一致地方量取气象元素并加以相应改正数以得到测站气象元素；在气象平和条件下观测和测量气象元素；取同步观测中的气象元素平均值进行对流层改正等。气象仪表应事先进行检定，并精心量取气象数据；炎热、潮湿气象条件下，不宜进行精密 GPS 测量。

e. 用精密激光测距仪（比如 ME3000，ME5000 或其它）直接测定 GPS 网中同步环和异步环中的几条（大于三条）基线长。

f. 精心编制外业实施计划，做好外业工作的组织调度工作，确保外业工作顺利进行。

L8 GPS 精密工程测量成果处理时，应注意以下几点：

a. 在个别情况下，当固定双差解不能得出最佳结果时，根据卫星星座变化情况，可采用精化技术排除劣观测值以保证解的正确性。

b. 基线向量质量评定时要进行重复基线观测不符值的检核；闭合环线坐标增量闭合差及相对闭

合差的检核；GPS 基线值同精密测距仪测量边长的检核，以及同高等点已知坐标外符合性检查。

c. 要注意 GPS 观测量随机模型的合理确定和采用。

d. GPS 网同地面网的联合平差可在三维(X、Y、Z)或(B,L,H)下进行，但对精密工程，最好在二维平面内进行。不管采用那种方式，都必须正确地解决好观测数据或平差结果向工程坐标参考系的转换问题。为模型转换用的公共点最好能布控整个测区，应对转换系数的有效性进行统计检验。

附 录 M
近景摄影精密工程测量
（参考件）

M1 测量近距离(100 m 以内)工程建筑物上大量目标点的长度、角度、坐标和变形，或目标点位于不可达到地区，宜采用近景摄影测量方法。作业要求参照 GB/T 12979 标准中有关规定执行。

M2 设法提高近景摄影测量精度，达到精密工程测量的要求。

M2.1 优化设计方案

制定施测方案时，应进行精度优化和可靠性优化；对被摄目标拟定摄影安排并应合理布设控制点；进行可靠性分析和精度估算，使预估精度达到精密工程测量的要求。

M2.2 选用高质量摄影机和片基

a. 应采用物镜畸变不超过 5 μm 的量测摄影机。摄影机检校的基本参数须包括主点坐标和主距(x_0、z_0、f_0)、物镜畸变参数($k1$、$k2$、$k3$、$p1$、$p2$)和仿射变形参数($d\beta$、ds)。检定主点和主距的精度应达到 ±0.01 mm。

b. 片基应采用玻璃干版或经归化后可达到玻璃干版量测精度的软片。

M2.3 布设控制点和人工标志

a. 控制点应分布在被摄目标的四周。当目标景深较大时，点位应在景深范围内均匀分布。

b. 人工标志宜采用同心园形标志，园心构象尺寸应为测标直径的 5/3 倍。标志的颜色应使其影象与标志背景色调有适当的反差。

M2.4 高精度量测

采用单坐标量测仪或 PSK-2 精密立体坐标量测仪。采用光学框标和解析定向，量测精度应达到 0.1～1.0 μm。

M2.5 多重摄影

a. 高精度测量宜采用多重摄影，即多摄站、多帧幅、多框标、多标志的多重摄影。

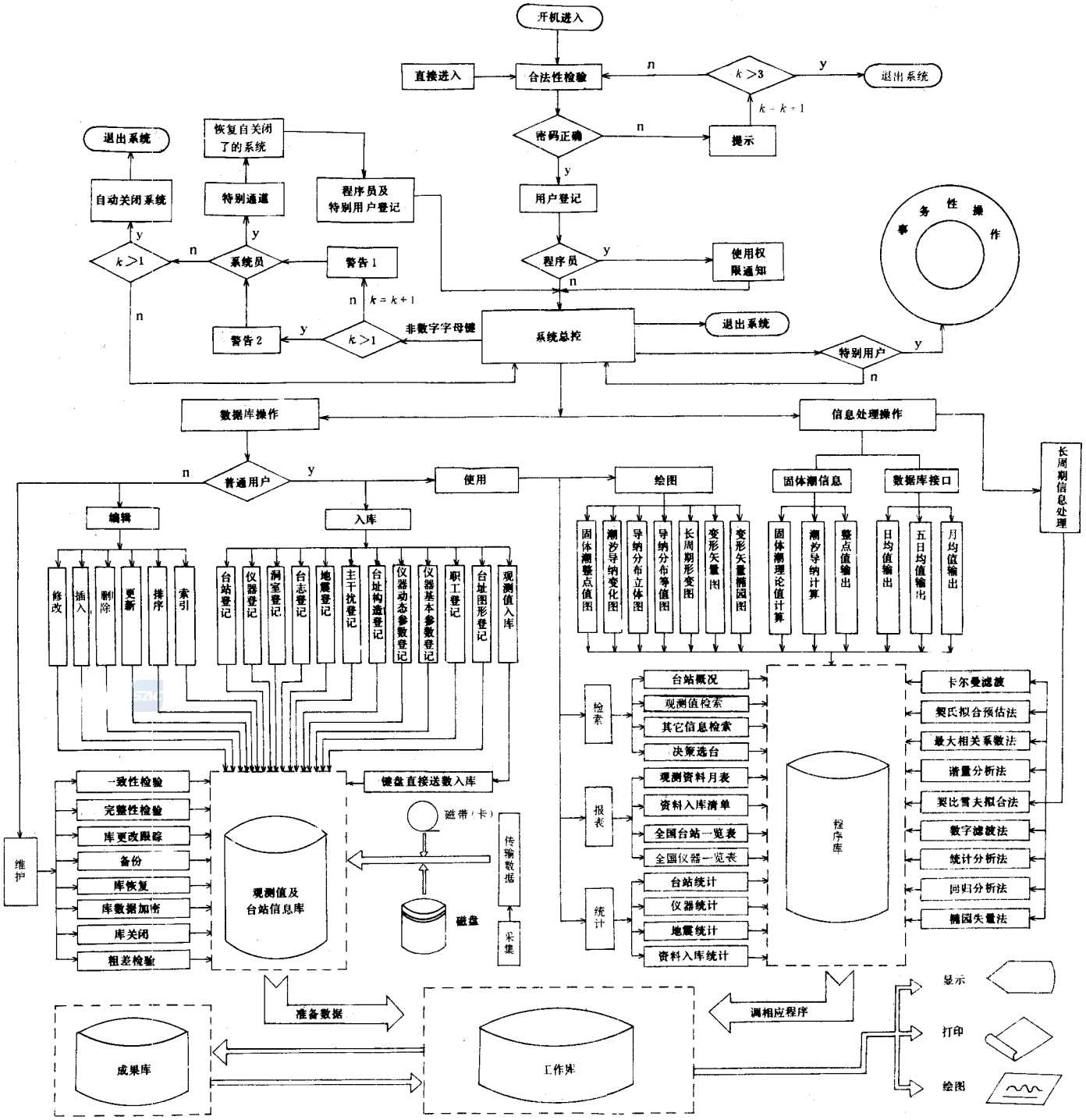
b. 交向摄影时，最佳交向角为 80°～90°，基距比(B/Y)应近似为 0.8。

M2.6 平差方法

a. 采用严密的平差方法，如光束法或多站光束法平差。

b. 采用经过严格鉴定的多功能计算程序，应包括象片变形改正、粗差检测等功能。

附 录 N
精密工程定点变形资料库及信息处理系统逻辑结构图
（参考件）



附加说明：

本标准由国家测绘局提出。

本标准由国家测绘局测绘标准化研究所负责起草。

本标准主要起草人姬恒炼、孔祥元、王俊卿、曹玉虎。